

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

**Měření oteplení konstrukčních částí jističe nn**  
**Measurement of Temperature Rise of Design Parts of Low Voltage**  
**Circuit Breaker**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Filip**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Měření oteplení konstrukčních částí jističe nn  
Measurement of Temperature Rise of Design Parts of Low Voltage  
Circuit Breaker  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor (základní provedení jističů, problematika oteplení)
3. Provedte měření oteplovací křivky vybraných konstrukčních částí jističe
4. Rozbor výsledků měření
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- HAVELKA, Otto. Elektrické přístroje, Praha, 1985, SNTL
- HAVELKA, Otto. Stavba elektrických přístrojů I., Brno, 1984, VUT Brno
- Katalogy a katalogové listy
- Odborné a technické www stránky
- Technické normy

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 28. 4. 2017

  
.....  
Martin Filip

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Petru Kačorovi Ph.D. za odbornou pomoc a další cenné rady při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Hlavním cílem této práce je změřit ustálenou teplotu konstrukčních částí a následně vypočítat oteplení těchto částí jističe od společnosti OEZ model Modeion BD250NE305. Dále se zabývá konstrukčními částmi jističe, jejich funkcemi a oteplení při zatížení.

## **Klíčová slova**

Nadproud, elektronická spoušť, oteplení, ustálená teplota, konstrukční části jističe, jistič Modeion BD250NE305.

## **Abstract**

The main objective of this work is to measure the constant temperature and then to calculate warming of the structural components of the circuit breaker Modeion BD250NE305 made by OEZ. It also deals with the structural components of the circuit breaker, their functions and warming in the load.

## **Keywords**

Overcurrent, electronic release, warming, constant temperature, structural components circuit breakers, circuit breaker Modeion BD250NE305

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	9
Seznam použitých ilustrací.....	10
Seznam použitých tabulek.....	11
1. Úvod.....	12
2. Základní veličiny a části .....	13
2.1. Elektrický proud .....	13
2.2. Joulovo teplo.....	13
2.3. Nadproud .....	13
2.4. Proudovodné části.....	13
2.5. Izolační části .....	13
3. Jističí přístroje .....	14
3.1. Pojistky .....	14
3.2. Jističe .....	15
4. Princip jističe.....	16
4.1. Hlavní části jističe.....	16
4.2. Postup spínání .....	16
4.3. Způsob ovládání.....	16
5. Konstrukční části jističe .....	18
5.1. Kontaktní systém .....	18
5.2. Spínací systém .....	18
5.3. Volnoběžka .....	18
5.4. Zhášecí systém.....	20
5.5. Tepelná spoušť.....	20
5.6. Elektromagnetická spoušť .....	21
5.7. Elektronická spoušť .....	23
5.7.1. 1. generace .....	23
5.7.2. 2. generace .....	24
5.7.3. 3. generace .....	24
5.8. Rogowského cívka.....	25
6. Velikosti jističů .....	26
6.1. Malé jističe.....	26
6.2. Střední jističe .....	26
6.3. Velké jističe .....	27
7. Vypínací charakteristika .....	28

8. Tepelné účinky elektrického proudu.....	29
8.1. Oteplování vodiče.....	29
8.2. Oteplování při přerušovaném chodu.....	30
8.3. Krátkodobé oteplení.....	30
8.4. Izolanty .....	31
8.5. Odpor vodiče.....	32
8.6. Šíření tepla.....	33
8.6.1.Kondukce .....	33
8.6.2.Konvekce .....	33
8.6.3.Sálání.....	34
9. Jistič Modeion BD250NE305 .....	36
9.1. Vypínací charakteristika .....	37
9.2. Konstrukční části .....	38
10.Praktické měření .....	40
11.Závěr .....	45
12.Literatura.....	46



## Seznam použitých symbolů a zkratek

Veličina	Fyzikální význam	Jednotka
$I$	Elektrický proud	[A]
$q$	Elektrický náboj	[C]
$t$	Čas	[s]
$Q$	Jouleovo teplo	[J]
$R$	Odpor vodiče	[ $\Omega$ ]
$\Delta P$	Ztrátový výkon	[W]
nn	Nízké napětí	[-]
$I_n$	Jmenovitý proud	[A]
$\alpha_0$	Součinitel přestupu tepla	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$A$	Ochlazovací plocha	[m <sup>2</sup> ]
$c$	Objemová tepelná kapacita	[J·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$V$	Objem	[m <sup>3</sup> ]
$\Delta \vartheta$	Okamžité oteplení tělesa	[K]
$\Delta \vartheta_\infty$	Ústalená teplota	[K]
$\tau$	Časová konstanta	[s]
$\rho$	Rezistivita	[ $\Omega$ ·m]
$\rho_{\text{rf}}$	Rezistivita při referenční teplotě	[ $\Omega$ ·m]
$l$	Délka vodiče	[m]
$S$	Průřez vodiče	[m <sup>2</sup> ]
$\alpha$	Tepelný součinitel odporu	[K <sup>-1</sup> ]
$q$	Měrné ztráty	[W·m <sup>-3</sup> ]
$\lambda$	Měrná tepelná vodivost prostředí	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$s$	Měrná hmotnost	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$c$	Měrné teplo	[m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$\eta$	Dynamická viskozita	[kg·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$\nu$	Statická viskozita	[m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	Proudová hustota	[A·m <sup>-2</sup> ]

## Seznam ilustrací

<i>Obr. 1.</i>	Válcová pojistka .....	14
<i>Obr. 2.</i>	Jednopolový jistič LST do 125 A .....	15
<i>Obr. 3.</i>	Vzduchový jistič AMT s ručním pohonem.....	17
<i>Obr. 4.</i>	Konstrukce drobného jističe nn .....	18
<i>Obr. 5.</i>	Princip volnoběžky .....	19
<i>Obr. 6.</i>	Zhášecí komora s izolačním roštem.....	20
<i>Obr. 7.</i>	Princip tepelné spouště .....	21
<i>Obr. 8.</i>	Princip mžikové spouště .....	21
<i>Obr. 9.</i>	Princip podpět'ové spouště.....	22
<i>Obr. 10.</i>	Princip kataraktové spouště .....	22
<i>Obr. 11.</i>	Blokové schéma elektronické spouště 1. generace .....	23
<i>Obr. 12.</i>	Blokové schéma elektronické spouště 2. generace .....	24
<i>Obr. 13.</i>	Blokové schéma elektronické spouště 3. generace .....	25
<i>Obr. 14.</i>	Rogowského cívka.....	25
<i>Obr. 15.</i>	Malý jistič nn – Eaton.....	26
<i>Obr. 16.</i>	Vypínací charakteristika jističů .....	28
<i>Obr. 17.</i>	Oteplovací a ochlazovací charakteristika.....	29
<i>Obr. 18.</i>	Oteplovací charakteristika pro přerušovaný chod.....	30
<i>Obr. 19.</i>	Mechanické namáhání vodičů .....	31
<i>Obr. 20.</i>	Laminární proudění .....	34
<i>Obr. 21.</i>	Turbulentní proudění .....	34
<i>Obr. 22.</i>	Jistič BD250NE305 .....	36
<i>Obr. 23.</i>	Vypínací charakteristika jističe BD250NE305.....	37
<i>Obr. 24.</i>	Nastavování elektronické spouště.....	37
<i>Obr. 25.</i>	Konstrukční části jističe BD250NE305 .....	38
<i>Obr. 26.</i>	Osazení jističe termočlánky .....	38
<i>Obr. 27.</i>	Zhášecí komora jističe .....	39
<i>Obr. 28.</i>	Kontaktní styk.....	39
<i>Obr. 29.</i>	Zapojení měření .....	40
<i>Obr. 30.</i>	Pracovní prostředí v programu labVIEW před měřením .....	41
<i>Obr. 31.</i>	Pracovní prostředí v programu labVIEW během měření .....	41
<i>Obr. 32.</i>	Oteplovací křivky z naměřených hodnot .....	45
<i>Obr. 33.</i>	Určení ustálené teploty .....	47

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1.</i>	Přehled izolačních tříd .....	32
<i>Tab. 2.</i>	Rezistivita některých vodičů a jejich teplotní součinitele odporů .....	32
<i>Tab. 3.</i>	Emisivity povrchů materiálu a nátěru .....	35
<i>Tab. 4.</i>	Parametry jističe BD250NE305 .....	36
<i>Tab. 5.</i>	Naměřené hodnoty ustálené teploty pro $I_n = 160$ A .....	42
<i>Tab. 6.</i>	Naměřené hodnoty ustálené teploty pro $I_n = 250$ A .....	42

## 1 Úvod

Potřeba chránit elektrické stroje a zařízení se objevila již v dávných dobách. K chránění elektrických strojů a zařízení se používají jisticí přístroje, které se dělí do mnoha skupin. Tyto přístroje mají za úkol chránit před účinky poruchových proudů a napětí (zkratové proudy, nadproudy, přepětí) způsobené napájecí soustavou. Očekává se, že budou jednoduché, spolehlivé a levné. Mezi jisticí přístroje patří pojistky, jističe, proudové chrániče.

Vodiče a konstrukční části elektrických přístrojů představují přívodní vodiče, přívodní svorky, proudovodné součásti, kontaktní nože atd. Vlivem procházejícího proudu se části začnou ohřívat. Za normálního stavu se části za nějakou dobu ohřejí na ustálenou teplotu. Tato teplota je hlavně daná tepelnými účinky procházejícího proudu, přenosem tepla z ostatních částí a okolními podmínkami. Při poruchovém stavu dochází k nárůstu teploty na vysoké hodnoty, které jsou nepříznivé pro jisticí přístroje. I přes tyto vysoké hodnoty teploty a silové účinky proudu musí jisticí přístroj přerušit obvod.

## 2 Základní veličiny a části

### 2.1 Elektrický proud

Elektrický proud je jedna ze základních veličin SI soustavy. Je definován jako množství elektrického náboje za jednotku času.

$$I = \frac{q}{t} \quad [A;C;s] \quad (1)$$

Ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi stálou sílu o velikosti  $2 \cdot 10^{-7}$  newtonu na 1 metr délky vodiče.

### 2.2 Jouleovo teplo

Prochází-li vodičem elektrický proud, odevzdávají volné elektrony svou kinetickou energii částicím krystalové mřížky kovu. To má za následek zvýšení kmitání částic a tím i energie vodiče samotného. Přírůstek vnitřní energie vodiče, kdy dojde k ohřátí vodiče, označujeme jako Jouleovo teplo.

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [J;\Omega;A,t] \quad (2)$$

### 2.3 Nadproud

Nadproud je elektrický proud, který je větší než proud jmenovitý  $I_n$ , to znamená, že je vyšší než povolená kladná odchylka jmenovitého proudu. Udává se většinou v násobcích jmenovitého proudu.

### 2.4 Proudovodné části

Jsou tvořeny všemi díly přístroje, které zajišťuje přenos proudu. Můžou to být připojovací svorky, spojovací části nebo kontakty. Tyto části jsou namáhány dvěma způsoby.

Mechanické namáhání – způsobeno spínáním (rozběhem a brzděním pohybujících se částí, nárazy kontaktů při spínání).

Tepelné namáhání – vzniká průchodem proudů vodičem. Při průchodu provozních proudů nazýváme namáhání trvalé. Při průchodu zkratových proudů to je zvýšené namáhání.

### 2.5 Izolační části

Izolační části zajišťují upevnění proudovodných částí elektricky izolovaně od země a od vodičů jiných fází. Jako izolační materiály se používají materiály v plynném, pevném a kapalném skupenství. Základ tvoří látka pevná, která elektrický odděluje vodivé části, i když jsou spojeny mechanicky. Pro spínání potřebujeme plynné a kapalné izolanty. Nejlepší plynný izolant je vakuum.

### 3 Jistící přístroje

#### 3.1 Pojistky

Je to vyměnitelná část obvodu, která obsahuje tavný vodič, který je obklopený nevodivým materiálem (slouží jako zhášedlo). Průřez vodiče v pojistce je menší, než u vodiče vedení. Je to nejslabší místo obvodu, které je při průchodu nadproudu přetaveno vlivem tepelných účinků. Při přetavení vodiče dojde k elektrickému oblouku, který je pomocí okolního nevodivého materiálu zhasen (nejčastěji se používá křemičitý písek). Pojistka je přístroj, který je pouze na jedno použití.

Doba přetavení pojistky závisí na velikosti nadproudu. Pokud je nadproud velký, dojde k přetavení vodiče (drátku) v krátkém čase. Při malém nadproudu je doba přetavení delší. Proto se pojistky používají především k jištění sítě proti zkratovým proudům, nevhodné jsou v oblasti pro malé hodnoty proudů.

U malých nadproudů je doba tavení vodiče větší než doba oblouku, u velkých nadproudů je tomu naopak.

$$\Delta P = R \cdot I^2 \quad [W; \Omega; A] \quad (3)$$

Mezi výhody pojistek patří jednoduchá konstrukce, spolehlivost, nízká pořizovací cena. Nevýhodou je jejich nevratnost a manipulace.

Rozdělení pojistek:

1. Podle délky reakce:
  - 1.1. Rychlé – značí se písmenem F
  - 1.2. Pomalé – značí se písmenem T nebo symbolem šneka
2. Podle hladiny napětí:
  - 2.1. Nízkonapěťové
  - 2.2. Vysokonapěťové (pro napětí větší jak 1000 V)
3. Podle typu:
  - 3.1. Závitové
  - 3.2. Válcové
  - 3.3. Nožové
  - 3.4. Přístrojové



Obr. 1 Válcová pojistka [6]

## 3.2 Jističe

Je to spínací přístroj, který spíná elektrické obvody samočinně, tzn. bez zásahu osoby. Používá se k provoznímu spínání obvodů (hlavních a vedlejších) a k jištění strojů, přístrojů a vedení před negativními účinky nadproudů. U jističů se provádí provozní spínání ručně, pouze nadproudy se vypínají samočinně.

Jsou konstruovány ke spínání velkých výkonů. Moderní přístroje jsou schopny vypnout až dvě stě násobek jmenovitého proudu. Tyto přístroje se však nesmí často spínat, na rozdíl od drobných, u kterých je hodnota spínání až desetkrát větší. [1]

Rozdělení jističů:

1. Podle druhu:
  - 1.1. Stejnoseměrné
  - 1.2. Střídavé
2. Podle počtu pólů:
  - 2.1. Jednopolové
  - 2.2. Trojpolové
3. Podle zhášení oblouku:
  - 3.1. Vzduchové
  - 3.2. Olejové
  - 3.3. S vyfukovací cívkou
  - 3.4. Vakuové
4. Podle konstrukce:
  - 4.1. Otevřené
  - 4.2. Kompaktní
5. Podle vypínací charakteristiky:
  - 5.1. A – jištění polovodičů
  - 5.2. B – jištění vedení
  - 5.3. C – jištění menších spotřebičů
  - 5.4. D – jištění velkých motorů a transformátorů



Obr. 2 Jednopolový jistič LST do 125 A [6]

## 4 Princip jističů

### 4.1 Hlavní části jističe

Jističe jsou samočinné vypínače, které obsahují minimálně jednu nadproudovou spoušť. Základní části jističe jsou složeny ze tří složek: jisticí ústrojí, ovládací ústrojí, spínací ústrojí.

Jisticí ústrojí obsahuje nadproudové spouště nebo relé, které při svém působení opatří volnoběžku. Jisticí ústrojí, které působí na volnoběžku přímo (mechanicky) je spoušť. Relé vybavuje volnoběžku elektricky, často přes spoušť na podpětí nebo vypínací magnet.

Ovládací ústrojí je složeno jak z volnoběžky tak pohonu. Pohon ovládá jisticí zařízení do polohy vypnuto nebo zapnuto. Volnoběžka slouží k samočinnému vypnutí jističe při násobení jistění.

Spínací ústrojí skládá se ze dvou typů kontaktů, hlavní a opalovací. Hlavní kontakty slouží k vedení provozního proudu při zapnutém stavu jističe. Opalovací kontakty slouží k vytvoření oblouku. Chrání tak hlavní kontakty proti opálení. Oblouk vzniklý spínáním se zhasíná ve zhasécích komorách. Tyto komory izolují oblouk od ostatních částí jističe.

### 4.2 Postup spínání

Hlavní i opalovací kontakty mají dvě části, pohyblivou a pevnou. Pevné kontakty jsou spojené pohyblivou částí, kterou nazýváme můstek. Tyto kontakty jsou připájené na horní a střední přívodní pás. Ze středního pásu prochází proud proudovými transformátory, napájecími proudovými spoušti do spodního přívodního pásu.

Při zapínání napne pohon volnoběžku a sepne napínací pružinu, která natočí hřídel a jistič sepne. Při spínání sepnou jako první opalovací kontakty, pak až hlavní kontakty. Volnoběžka v zapnutém stavu drží kontakty trvale sepnuté i bez síly, která pohon uvedla do pohybu. Na kontakty je vyvíjen tlak, který je způsoben pružinami pohyblivých kontaktů. Tímto je zaručený dokonalý styk a malý přechodový odpor.

Při vypínání uvolní pohon volnoběžku. Kontakty vlivem působení tlaku a vypínací pružiny odskočí, pak se hřídel pootočí opačným směrem jak při zapnutí a jistič vypne. U vypínání se první odpojují kontakty hlavní a následně opalovací kontakty, na kterých vznikne oblouk, který je zhasen v komoře.

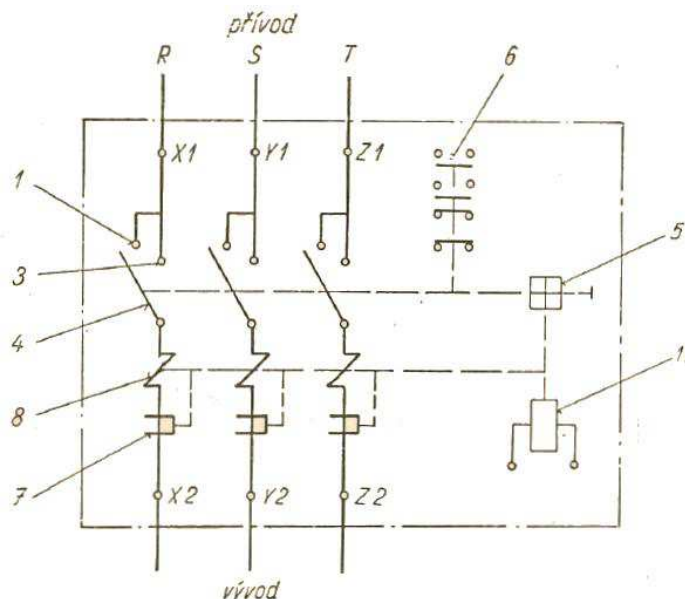
### 4.3 Způsob ovládaní

Jističe mohou být upravené tak, že mají pohon ruční nebo strojní.

Ruční pohon je nejjednodušší, často tvořen pákou nebo pákovým převodem, které působí na hřídel spínacího ústrojí. Tento pohon neumožňuje samočinné spínání, nehodí se k automatickému ovládaní.

Strojních pohonů je více druhů, dělí se podle použité energie na elektromagnetické, tlakovzdušné a motorové.





Obr. 3. Vzduchový jistič AMT s ručním pohonem [3]

1. opalovací kontakty; 3. hlavní kontakty; 4. pohyblivý systém; 5. volnoběžka; 6. pomocné kontakty;  
7. tepelné spouště; 8. zkratové spouště; 9. vypínací magnet;

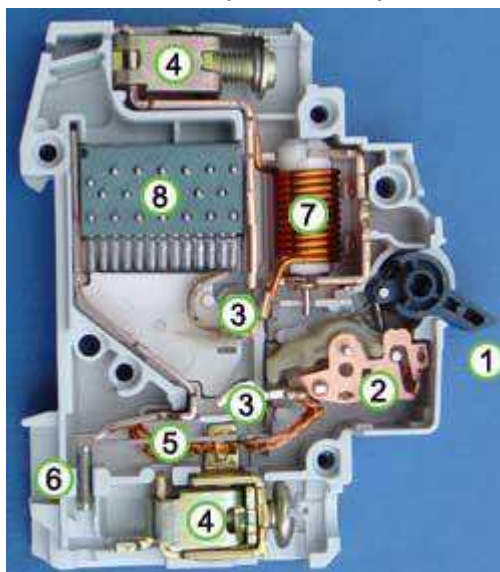
Elektromagnetický pohon - tvořen silným elektromagnetem, jehož kotva je spojena s pákou ručního pohonu. Průchodem elektrického proudu cívkou elektromagnetu se kotva přitáhne, čímž zapne jistič. Pomocí spouště na podpětí nebo vypínacím magnetem se jistič vypíná. Ovládací cívky se dimenzují na krátkodobé zatížení.

Tlakovzdušný pohon – zapínání jističe je měkčí a bez rázu než u elektromagnetického pohonu. Na druhou stranu potřebuje ke své funkci zdroj stlačeného vzduchu. Ovládacím pohonem tohoto typu je ovládací válec, který působí na páku. Podle typu konstrukce se používá jak k zapínání, tak i k vypínání, někde zas pouze k zapínání. U konstrukce, která slouží k zapínání i vypínání se vzduch vhání do válce dvěma elektromagnetickými impulsovými ventily (zapínacím a vypínacím). U konstrukce, která slouží pouze k zapínání má pouze jeden ventil a to zapínání. K vypínání se používá spouště na podpětí nebo magnetu jako u elektromagnetického pohonu.

Motorový pohon – malé využití u jističů. Tvořené elektromotorem, který natáčí hřídel kontaktního ústrojí oběma směry. Nevýhodou tohoto pohonu jsou velké rozměry, pomalý chod a složité ovládání. [3]

## 5 Konstrukční části jističe

Zde si popíšeme podrobněji konstrukční části jističe, které jsou důležité především pro údržbu.



Obr. 4. Konstrukce drobného jističe nn [8]

1. ovládací páčka; 2. aretační mechanismus; 3. kontakty; 4. přívodní šroubová svorka; 5. bimetalový člen pro vybavení přetížením; 6. regulační prvek nastavení citlivost; 7. elektromagnetická spoušť pro vybavení zkratem; 8. zhášecí komora;

### 5.1 Kontaktní systém

Tento systém je tvořený jedním pohyblivým kontaktem a jedním pevným kontaktem. U kontaktů se očekává plná funkčnost jak za provozního stavu, tak i za stavu poruchového. Kontakty mají mít dobrou elektrickou vodivost, mechanickou a tepelnou odolnost a odolnost proti korozi. Podle použitého materiálu se tyto vlastnosti mění.

### 5.2 Spínací systém

Slouží ke spínání jističe. Rozeznáváme systém automatický a manuální (ruční). Manuální se provádí pomocí páky, kterou ovládá obsluha. Automatické spínání je vybaveno tepelnou elektromagnetickou spouští. Základním prvkem je volnoběžka a zámek.

### 5.3 Volnoběžka

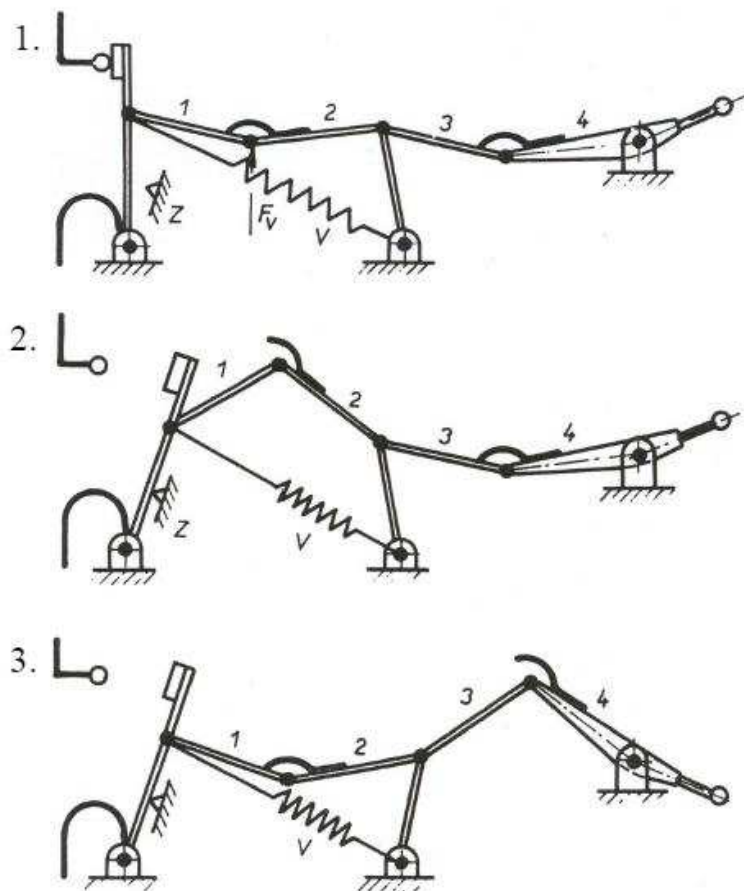
Z konstrukčního hlediska velmi náročný prvek jističe. Na tuto část jsou kladené velké požadavky. Při zapínání jističe musí přenášet velké síly, naopak při vypínání však stačí malý impuls. Životnost volnoběžek by měla být shodná s životností jističe, ať se nemusí vyměňovat.

Mechanismus je nejdůležitější část každé volnoběžky. Je zkonstruován pomocí pár, vzpěr a pružin. Úkolem tohoto mechanismu je přenést pohyb z hřídele pohonu na hřídel spínacího ústrojí. V zapnuté

poloze je volnoběžka mechanický zablokována. Při vypínání se jeden článek vysune pomocí pohonu nebo vybavovací lišty, tím pádem dojde k rozpadnutí celku.

Volnoběžky se liší provedením konstrukce. Nejvíce jsou rozdíly v počtu a uspořádání článku mechanismu. Volnoběžky samočinných vypínačů pro velké jmenovité proudy jsou větší a složitější než pro proudy malé. Je to dáno tím, že páky musí zachytit mnohem větší vypínací síly a musí být vybaveny malou vybavovací silou spouště.

Princip volnoběžky ze dvou zpěr:



Obr. 5. Princip volnoběžky [7]

1. stav zapnuto; 2. stav vypnuto pomocí spouště; 3. stav vypnuto pomocí páky;

Na obr. 5. vidíme volnoběžku, která má jedno rameno spojeno s pohyblivým kontaktem a druhé spojeno s ručním ovládáním jističe.

V zapnuté poloze musí páky ležet téměř v jedné rovině, jsou trochu zvlněné. Velikost prolomení jednotlivých zpěr je dáno zarážkou. Tyto zarážky chrání před úplným prolomením. Vypínací síla  $F_V$  působí na kloub mezi pákami 1 a 2. Ve chvíli kdy se kloub dostane z polohy zapnuté do polohy mrtvé, dojde k oddálení pohyblivého kontaktu. Oddálení je způsobeno vypínací pružinou V. Kloub mezi pákami 3 a 4 zůstane ve stejné pozici, páky zůstávají prolomené. Ovládací páka zůstává taktéž v základní pozici. Tohle vypnutí bylo automatické. Pro zapnutí jističe je potřeba páku stlačit dolů a pak zas zpět nahoru do polohy zapnuto. Při ručním vypnutí stačí pouze páku stlačit směrem dolů. Tím

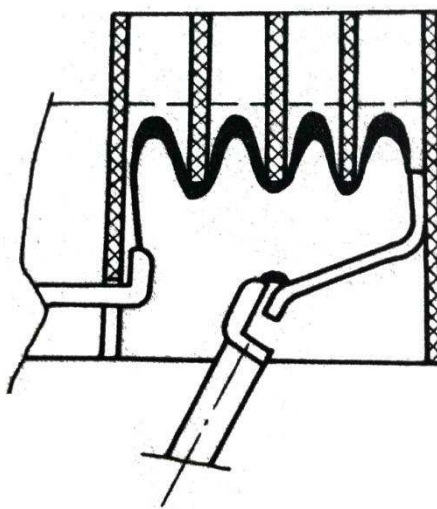
pádem se vypnou páky 3 a 4 a páky 1 a 2 zůstávají ve stejné pozici. K vypnutí stačí ruční páku 4 přesunout z polohy dole do polohy nahoře.

#### 5.4 Zhášecí systém

Slouží ke zhašení oblouku vzniklého při vypnutí. Zhášení oblouku má na starost zhášecí komora, která rozdělí vzniklý oblouk na několik malých oblouků v sérii, tím dochází ke zvětšení obloukového napětí, zvětšení délky oblouku a tím pádem zvýšením odporu a rychlejšímu uhašení oblouku. Nejčastěji se používají zhášecí komory s magnetickým vyfukováním.

Zhášecí komora s izolačním roštem:

Tato komora vznikla z izolačního obalu obloukového prostoru, do kterého se vložilo několik žeber.



Obr. 6. Zhášecí komora s izolačním roštem [7]

Vyfukovaný oblouk se na čelních hranách žeber prodlouží do několika dalších vln. Chladicí účinek žeber není moc velký, protože na ně přilehá jen malá část oblouku. Pro stejnosměrný proud má hlavní význam zvětšení odporu oblouku, to je způsobeno zvětšením délky. U vypínání oblouku střídavého proudu dochází zvětšením délky ke vzniku velkého povrchu pro radiální výměnu částic v nule proudu. Výměna částic probíhá na stěnách žeber. Vzduch, který se ohřeje na vysokou teplotu vlivem oblouku, je odváděn otevřeným prostorem (strop) ze zhášecí komory do okolí. [1] [7]

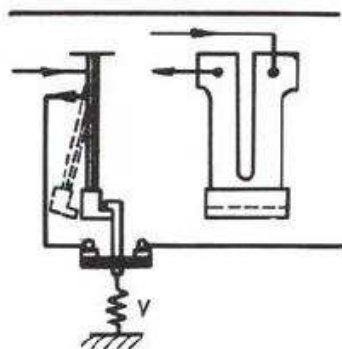
#### 5.5 Tepelná spoušť

Tepelná poušť je založena principu dvou kovových pásky, které mají rozdílný součinitel délkové roztažnosti. Tyto dva pásky jsou mechanicky pevně spojeny po celé stykové ploše. Nazývá se bimetal. Při průchodu proudu proudovodnou dráhu se materiál zahřívá. Materiál s větším součinitelem roztažnosti se prodlužuje o něco víc, jak materiál se součinitelem menším. Jestliže jeden konec bimetalu pevně uchytkujeme, bude se pásek ohýbat a druhý konec bimetalu se bude vychylovat.

Vrstva s menším součinitelem délkové roztažnosti (pasivní) je většinou vyrobena z invaru, což je slitina oceli a niklu (obsah niklu kolem 40 %). U vrstvy s větším součinitelem délkové roztažnosti

(aktivní) se používají slitiny oceli, niklu a dalšími přísadami (měď, mangan, chrom), ovšem obsah niklu je podstatně menší jak u pasivní vrstvy.

Tepelné spouště využívají tepelných vlastností proudů. Zařízení odpojuje zpožděně na velikosti procházejícího proudu. Je zkonstruována proti přetížení, ale ne proti zkratům.



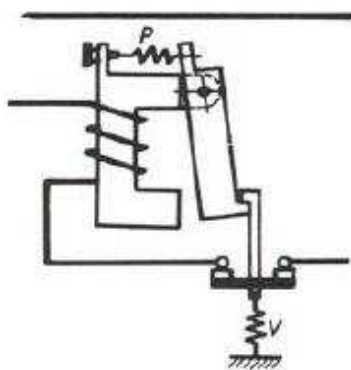
Obr. 7. Princip tepelné spouště [7]

Ve studeném stavu drží bimetal tvar U kontaktu proti pružině, která je v sepnutém stavu. Po zahřátí nadproudem se pásek z dvojkovu prohne, což má za následek uvolnění západky a vybavení kontaktu. Toto je příklad přímotopného článku s oběma přívody pevnými.

## 5.6 Elektromagnetická spoušť

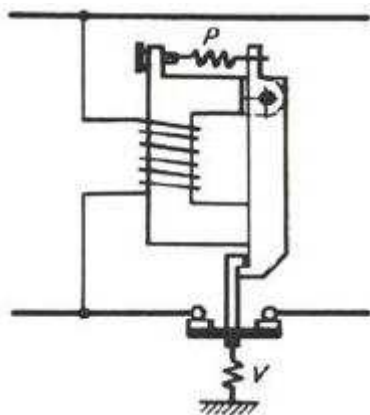
Slouží k vypnutí zkratových proudů v co nejkratším čase. Doba reakce elektromagnetické spouště se pohybuje kolem desítek milisekund.

Mžiková spoušť – založen na principu průchodu proudu jištěného obvodu přes cívku spouště. Kotva spouště funguje jako zámek, tedy drží kontakty proti tahu pružiny V, která je v zapnutém stavu do doby, kdy obvodem začne protékat proud, který je dostatečně velký na to, aby tah elektromagnetu překonal tah pružiny P. Pak kotva je přitažena elektromagnetickým polem, kontakty jsou přitaženy pružinou V a dojde přerušení obvodu. Po přerušení neteče obvodem žádný proud, takže kotva je opět v původní poloze.



Obr. 8. Princip mžikové spouště [7]

Podpěťová spoušť – je trvale sepnutá, pokud napětí nabývá požadovaných hodnot. Obvodem prochází proud, který kotvu přitahuje k elektromagnetu. Jakmile poklesne jmenovitá hodnota napětí sítě pod určitou mez, poklesne i proud a pak je tah pružiny P větší než přídržná síla elektromagnetu. Následně dojde k oddálení kotvy od elektromagnetu a pomocí vypínací pružiny V se kontakty oddálí a dojde k rozpojení obvodu.

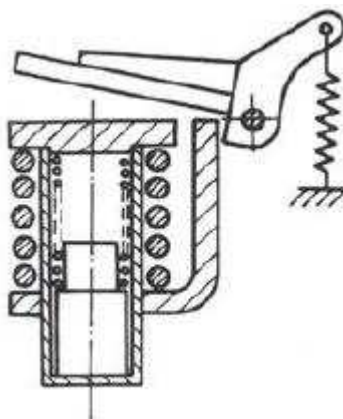


Obr. 9. Princip podpěťové spouště [7]

Kataraktová spoušť – tvořena magnetickým obvodem, který obsahuje dvě mezery. Jedna mezera je mezi kotvou a pólovým nastavcem a druhá je mezi jádrem a pólovým nastavcem. Válcové jádro, které se pohybuje uvnitř válce, tvořené nemagnetickým kovem je pružinou tlačeno do základní polohy. Okolo jádra ve válci je silikonový olej.

Při průchodu nadproudu vinutím, dojde ke vzniku magnetického pole, které se snaží vtáhnout jádro k hornímu nadstavci. Proti síle magnetického pole působí tah pružiny. Pohyb jádra je brzděn olejem ve válci, který protéká podél stěn na druhou stranu kotvy. Rychlost pohybu jádra závisí na velikosti proudu, a čím je jádro blíže pólovému nastavci, tím je rychlejší. Po přiblížení jádra k pólovému nastavci dojde ke zvýšení vnějšího tahu elektromagnetu. Jelikož vnější tah elektromagnetu je větší než tah zpětné pružiny, vnější kotva přiskočí k pólovému nastavci a vybaví se zámek jističe.

Od určité velikosti vnější tah elektromagnetu tak velký, že kotva přiskočí mžikově, bez ohledu na polohu jádra v nemagnetickém válci. [7]



Obr. 10. Princip kataraktové spouště [7]

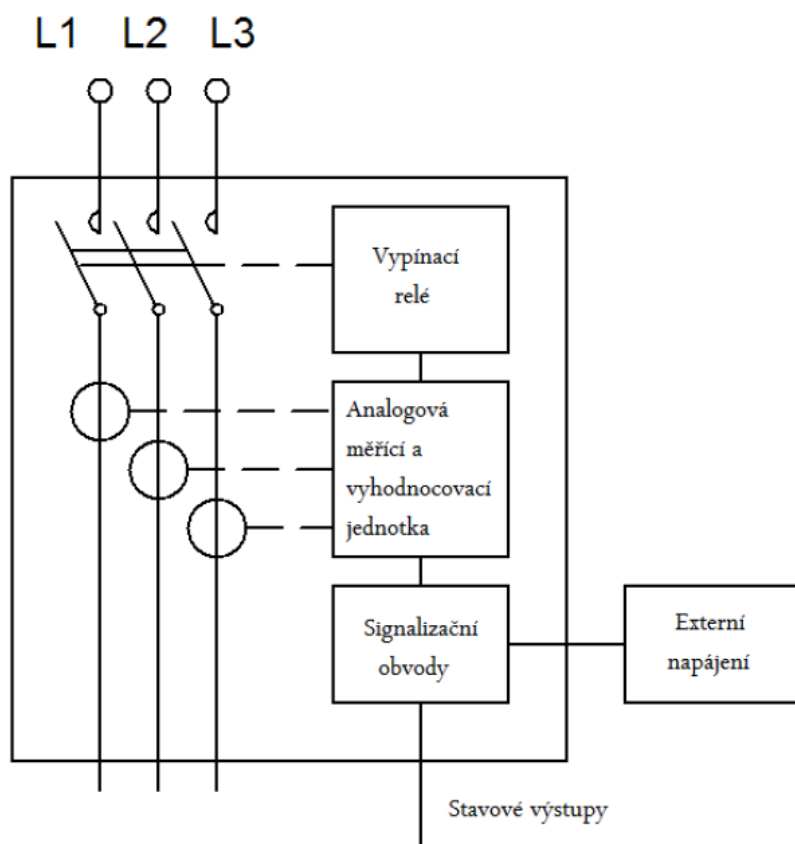
## 5.7 Elektronická spoušť

Součástí každého jističe s elektronickou spouští jsou proudové transformátory v každém pólu jističe. Tyto transformátory slouží ke snímání proudu, který prochází jištěným zařízením a zároveň k napájení elektronické spouště. Primární vinutí proudových transformátoru je tvořeno jedním průvlekem a sekundární vinutí cívkou s mnoha závity.

Elektronická spoušť je samostatný díl jističe, který jde libovolně měnit. Je tvořen deskou plošných spojů, regulačními kotouči spojenými s přepínači, konektory které propojují proudové transformátory se spouští a mikroprocesorem, který to celé řídí. Na výstupu elektronické spouště je speciální vybavovací elektromagnet.

### 5.7.1 1. generace

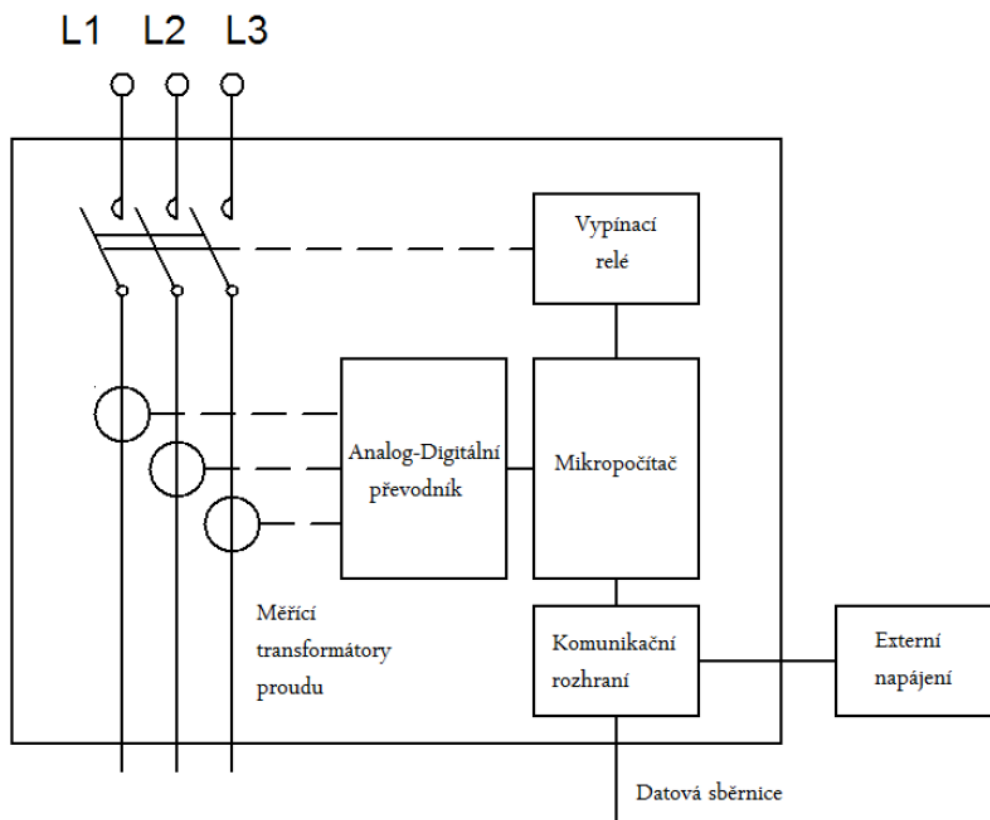
První generace elektronických spouští se skládá z proudového transformátoru, analogové měřicí a vyhodnocovací jednotky, signalizačními obvody a vypínacím relé. Protékající proud je měřen proudovými transformátory a následně zasilán do analogového snímače, kde je porovnáván s vypínací charakteristikou jističe. Jestliže proud vyhovuje, žádná další operace neprobíhá. Pokud však nastane překročení dovolené hodnoty proudu, pak vyhodnocovací jednotka vyšle signál do vypínacího relé, ať přeruší obvod rozpojením kontaktů. Spoušť je napájena proudovými transformátory. Pro dálkové řízení spouště je potřeba externího napájení.



Obr. 11. Blokové schéma elektronické spouště 1. generace [5]

### 5.7.2 2. generace

Elektromagnetická spoušť 2. generace pracuje na stejném principu jako 1. generace, akorát s tím rozdílem, že místo analogového snímače je použit analogovo-digitální převodník (A/D). Data jsou zpracovávána a vyhodnocována mikropočítačem, který opět řídí celou elektronickou spoušť. Ještě zde přibyl blok komunikační rozhraní, který umožňuje komunikovat s okolím (PC, notebook) pomocí datové sběrnice.

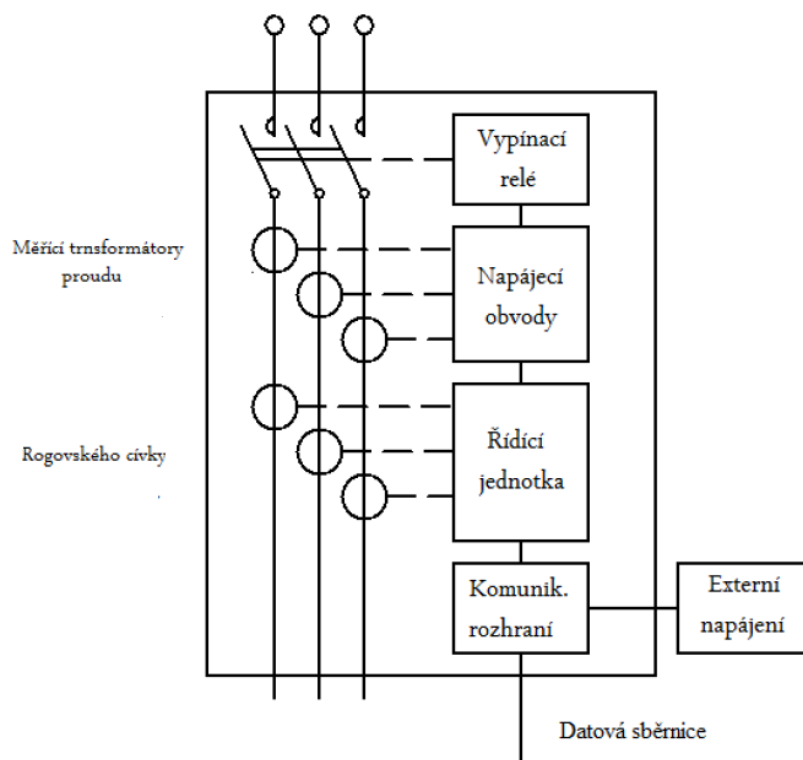


Obr. 12. Blokové schéma elektronické spouště 2. generace [5]

### 5.7.3 3. generace

Elektronická spoušť 3. generace se liší od 2. generace pouze tím, že transformátor proudu slouží pouze k napájení všech částí spouště a přibyl Rogovského cívky, které už slouží k měření elektrického proud, který protéká jištěným zařízením. [5] [9]





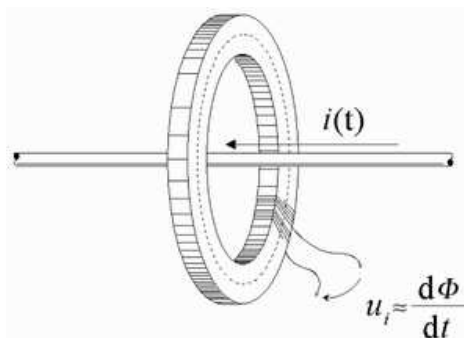
Obr. 13. Blokové schéma elektronické spouště 3. generace [5]

## 5.8 Rogovského cívka

Je to cívka, která má tvar toroidu, nemá feromagnetické jádro a slouží k měření střídavých proudů. U měření se toroid umísťuje okolo měřeného vodiče. Tato cívka nahradila dříve používané měřicí transformátory proudu, protože bylo těžké měřit přesné hodnoty pro větší rozsahy, a to z důvodu nasycení feromagnetika.

Pracuje na podobném principu jako měřicí transformátor proudu, akorát s tím rozdílem, že na výstupu je hodnota napětí a ne proud. Proud, který prochází vodičem, vyvolá magnetické pole, které způsobuje magnetickou indukci na vzduchové cívce. Indukované napětí je dáno časovou změnou magnetického toku cívky.

Výhodou této cívky u elektronických spouští je především nastavení většího rozsahu jmenovitého proudu. To umožňuje modelovat tvary vypínacích charakteristik. [9]



Obr. 14. Rogovského cívka [9]

## 6 Velikost jističů

Jističe nn se dělí podle hodnot jmenovitých proudů do třech skupin:

- a) malé jističe – do 63 A
- b) střední jističe – do 630 A
- c) velké jističe – nad 630 A

### 6.1 Malé jističe

Tento druh jističe se vyrábí nejvíce (až statisíce ročně). Používají se k jištění malých motorů, spotřebičů, světelných obvodů, bytových rozvodů, stavebních rozvaděčů a v mnoha jiných oblastech, především v průmyslu. Jističe se vyrábí v mnoha provedeních a pro různé hodnoty jmenovitých proudů ( $I_n = 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63$ ). Využívají se jak k jištění nadproudů, tak proti zkratům a to pro jednofázové i trojfázové obvody. Proto jističe musí být vybaveny elektromagnetickou zkratovou spouští a tepelnou spouští. U zkratových proudů dochází ke vzniku elektrického oblouku, který je zhasen pomocí zhasací komory s elektromagnetickým vyfukováním. Mechanismus jističe je jednoduchý. Většinou se používá kloubový, ovládaný ručně přes pákový systém. Kontakty, které plní funkci hlavních i opalovacích, jsou nejčastěji můstkové, a to kvůli malé hmotnosti a velké vypínací rychlosti. Kontakty jsou vyrobeny převážně ze slitiny stříbra s prvkem odolným vysokým teplotám (Ni, W, C).



Obr. 15. Malý jistič nn - Eaton

### 6.2 Střední jističe

Tento druh se vyrábí oproti malým jističům méně (tisíce ročně). Využívají se k jištění distribučních rozvodů. Tento typ už má zvlášť hlavní a opalovací kontakty, kvůli vyšším proudům. Opalovací kontakty slouží hlavně k vypínání zkratů, ale i k zapínání, kde musí odolávat tepelným účinkům elektrického oblouku. Hlavní kontakty jsou určeny pro trvalý průchod jmenovitého proudu a krátkodobé zatížení zkratovým proudem. Pro zhasení elektrického oblouku se využívá zhasací komora s magnetickým vyfukováním. Ručně ovládané jističe lze doplnit o zapínací pohon, pomocí kterého

můžeme jistič ovládat dálkově. Při použití pohonu se používají pomocné kontakty, které mají za úkol signalizovat stav jističe (zapnuto, vypnuto, blokováno).

U středních jističů lze nastavit selektivitu jištění a seřadit přístroj podle nároku jištěného zařízení pomocí spouště, která je nastavitelná elektronicky, mechanicky nebo programově. Střední jistič lze ještě rozšířit o podpěťovou spoušť, která reaguje na pokles napětí v jištěném elektrickém obvodu.

### **6.3 Velké jističe**

Typickým znakem velkých jističů je mohutná konstrukce a malý počet vyrobených kusů v porovnání s jističi středními a malými. Vyrobeno je pouze pár desítek kusů ročně.

Zapínání těchto jističů se provádí mechanicky pomocí tlačítka, nebo dálkově pomocí elektromagnetu. Vypínání se provede taktéž pomocí tlačítka, nebo dálkově pomocí elektromagnetické spouště.

Konstrukce u tohoto typu jističe je na podvozkovém rámu s přípojovacími kontakty, aby ho bylo snadno vyměnit. Tento rám nese hlavní a opalovací kontakty soustavy všech tří fází, obsahuje také zhášecí komory s ocelovým roštem. Dále jsou do rámu vestavěny vypínací pružiny a volnoběžka, nadproudové spouště, které jsou napájené přes proudové transformátory, zkratové spouště a velmi často strojní pohon, kvůli obrovským silám.

Životnost velkých jističů je malá. Pohybuje se okolo stovek až tisíce sepnutí. [3] [7]

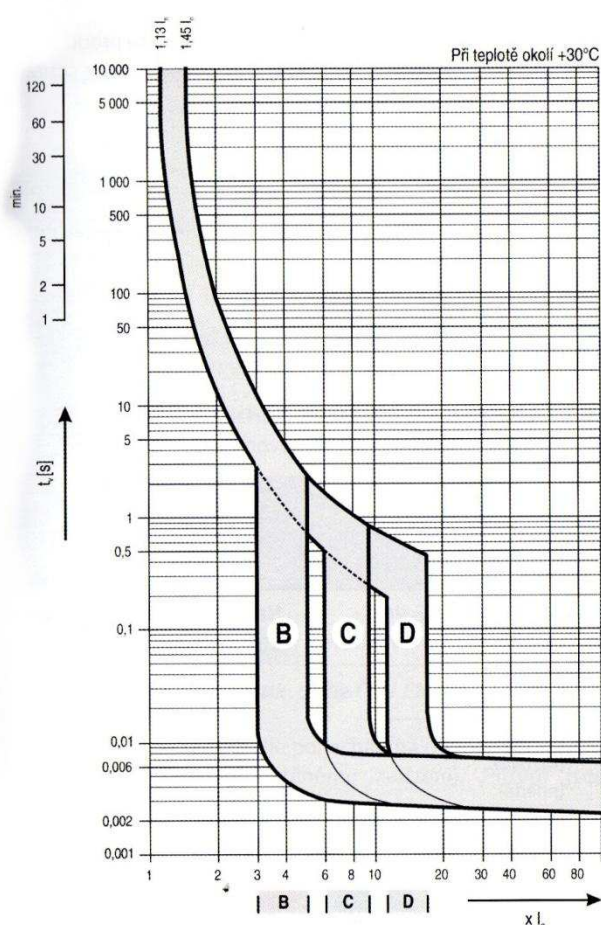
## 7 Vypínací charakteristika

Zobrazuje závislost Joulova integrálu na hodnotě předpokládaného efektivního proudu.

$$I^2 \cdot t = f(I_P) \quad (4)$$

Jedná se o závislost celkového vypínacího času na násobcích jmenovitého proudu  $I_n$ , který protéká jističem. Pak vypínací doba odpovídá tzv. studenému stavu jističe, tím rozumíme průchod proudu jističem bez zátěže.

Z charakteristiky můžeme vidět, že čím větší je proud (násobek jmenovitého proudu) tak vypínací čas se zmenšuje.



Obr. 16. Vypínací charakteristika jističů [5]

Jističe typu B – vypíná při (3 – 5)  $I_n$ , používá se pro jištění vedení napájecí elektrická zařízení, které nezpůsobují velké proudové rázy, např. domovní instalace.

Jističe typu C – vypíná při (6 – 9)  $I_n$ , používá se pro jištění vedení napájecí elektrická zařízení, které způsobují proudové rázy, např. spínané zdroje, více pólové motory.

Jističe typu D – vypíná při (12 – 16)  $I_n$ , používá se pro jištění vedení napájecí elektrická zařízení, které způsobují velké proudové rázy, např. transformátory, 2 - pólové motory.

## 8 Tepelné účinky elektrického proudu

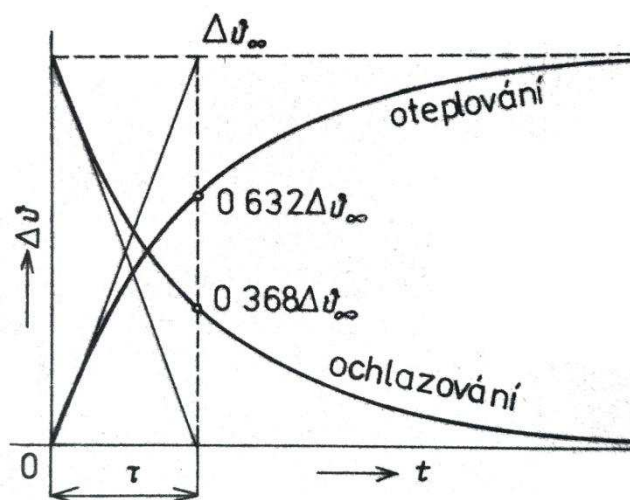
Při průchodu proudu proudovodnými dráhami elektrických přístrojů dochází k oteplení vodivých částí. Teplo vzniklé průchodem proudu ovlivňuje materiály vodivé i nevodivé (izolanty). Proto je hlavním cílem při návrhu elektrických přístrojů zjistit účinky tepla, které proud vyvolá svým průchodem a pak zamezit namáhání vodivých částí a zajistit spolehlivost a bezpečnost přístroje.

### 8.1 Oteplování vodiče

Prochází-li vodičem s odporem  $R$  elektrický proud  $I$ , potom v každém časovém okamžiku  $dt$  v něm vznikají tepelné ztráty (Joulovy). Tohle je teplo vzniklé ve vodiči, které se dělí na dvě části. První část je teplo, které se odvede ve stejné době ochlazováním do okolí a druhá část je teplo, které se spotřebuje. Můžeme psát rovnici

$$RI^2 dt = \alpha_0 A \Delta\vartheta dt + cV d\vartheta \quad (5)$$

Křivka časového průběhu oteplení má exponencialní charakter. Z počáteční nulové hodnoty narůstá stále pomaleji až na hodnotu maximální  $\Delta\vartheta_\infty$ . Maximálního oteplení dosáhne až v čase  $t \rightarrow \infty$ . Časovou konstantu oteplení  $\tau$  můžeme definovat jako dobu, za kterou dosáhne 63,2 % své maximální hodnoty oteplení.



Obr. 17. Oteplovací a ochlazovací charakteristika [1]

Rovnice pro oteplovací děj

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_\infty \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad [\text{K}; \text{K}, \text{s}, \text{s}] \quad (6)$$

V ustáleném stavu je  $\Delta\vartheta/dt = 0$  a  $\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_\infty$ , pak rovnice (4) bude ve tvaru

$$RI^2 dt = \alpha_0 A \Delta\vartheta_\infty \quad (7)$$

Časová konstanta

$$\tau = \frac{c \cdot V}{\alpha_0 \cdot A} \quad [\text{s}; \text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}, \text{m}^3, \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}, \text{m}^2] \quad (8)$$

## 8.2 Oteplování při přerušovaném chodu

Při přerušení, přestane vodičem procházet proud, takže  $I = 0$ . Ale jelikož ještě před přerušením procházel obvodem proud, přístroj je ohřátý a předává akumulované teplo do okolí. To způsobuje ochlazení přístroje, pak teplota klesá.

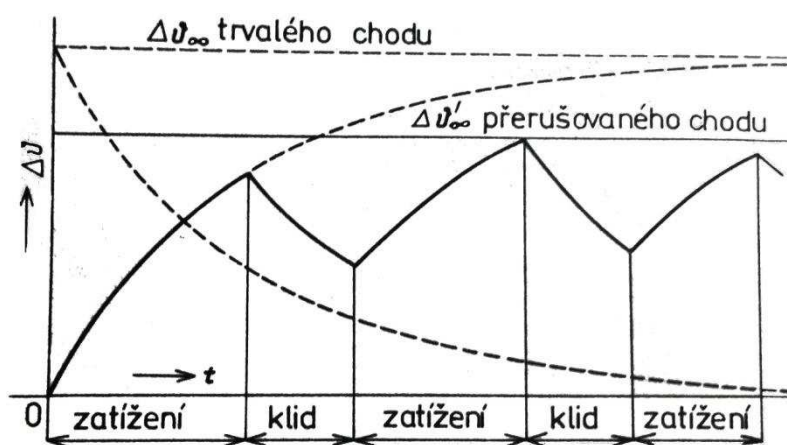
Pro přerušovaný chod platí rovnice:

$$0 = \alpha_0 A \Delta\vartheta \, dt + cV \, d\vartheta \quad (9)$$

Pak oteplení je

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\infty} \cdot e^{-\frac{\alpha_0 A t}{cV}} = \Delta\vartheta_{\infty} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\text{K}; \text{K}, \text{s}, \text{s}] \quad (10)$$

U zařízení, které je provozováno v přerušovaném chodu je charakterizováno tím, že chvíli je zatíženo a chvíli je v klidu. Pak takové zařízení nemusí dosáhnout hodnoty ustáleného oteplení.



Obr. 18. Oteplovací charakteristika pro přerušovaný chod [1]

## 8.3 Krátkodobé oteplení

Krátkodobé oteplení považujeme tehdy, jestliže doba proudu, který prochází vodičem je kratší než  $0,2\tau$ , takže při přechodném stavu, nebo při zkratu. Při tomto oteplení zanedbáváme odvod tepla do okolí a uvažovat, že všechno uvolněné teplo se akumuluje v tělese a to způsobuje nárůst teploty. Tato teplota je mnohem vyšší než teplota ustálena. Její maximální hodnota je omezena podmínkou, při které

nesmí ohrozit materiál vodiče (hlavně mechanická pevnost materiálu) ani izolačních dílů, se kterými se vodič stýká.

Protože zanedbáváme odvod tepla, můžeme psát  $\alpha_0 = 0$  a potom

$$RI^2 dt = cV d\vartheta \quad (11)$$

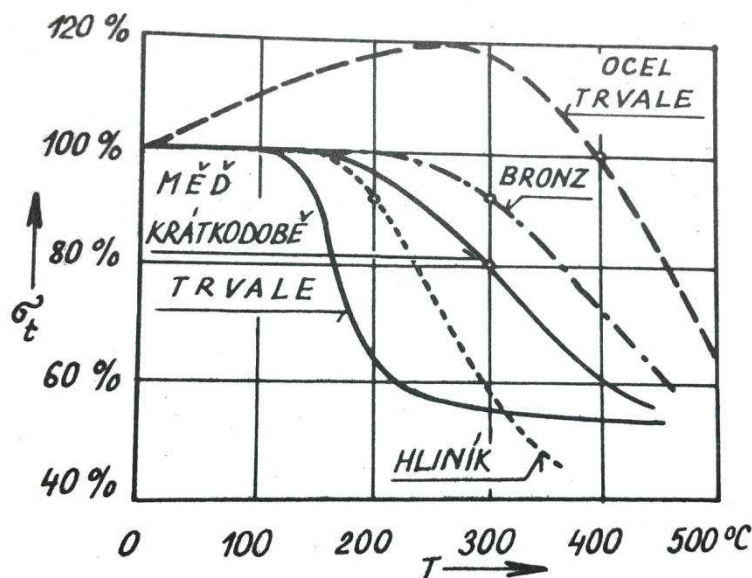
Oteplení vypočteme podle vzorce

$$\Delta\vartheta_{kd} = \frac{R \cdot I^2}{c \cdot V} \cdot t_{kd} = \frac{\rho \cdot l \cdot I^2}{c \cdot l \cdot S^2} \cdot t_{kd} = \frac{\rho \cdot \sigma^2}{c} \cdot t_{kd} \quad [\text{K}; \Omega \cdot \text{m}, \text{A} \cdot \text{m}^{-2}, \text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}, \text{s}] \quad (12)$$

Nejnepříznivější stav je při zkratu po dlouhodobém průchodu jmenovitého proudu, kdy krátkodobé oteplení navazuje na již ustálené oteplení jmenovitým proudem.

$$\vartheta_{kd} = \vartheta_0 + \Delta\vartheta_{\infty} + \Delta\vartheta_{kd} \quad [\text{K}; \text{K}, \text{K}, \text{K}] \quad (13)$$

Mechanická pevnost v tahu by neměla klesnout pod hodnotu 80 % pevnosti za normální teploty. Údává se, že nejvyšší přípustná krátkodobá teplota u dílců z hliníků je 200 °C, z mědi a barevných kovů 300 °C, z oceli 400 °C.



Obr. 19. Mechanické namáhání vodičů [2]

## 8.4 Izolanty

Jejím úkolem je oddělit od sebe vodivé části, ať nenastane nějaký nepříznivý stav a chrání obsluhu před úrazem elektrickým proudem. Izolanty se dělí do sedmi tříd podle velikosti trvale přípustné teploty. Ty jsou stanoveny tak, aby životnost zařízení byla vyhovující. Životnost izolantu je doba, při které se jeho vlastnosti změní na krajní hranice a při tom nedochází k poruše zařízení, které je umístěno v normálním prostředí a zatížené na teplotu, která je v zatíženém zařízení nejvyšší. Protože

se při změně teploty mění značně životnost, tak při navrhování přístroje uvažujeme tak, aby byla hospodárná. Hospodárná životnost znamená, že uvažujeme maximální dobu, kdy se zařízení nestane ještě zastaralým a bude vyhovovat požadavkům, které jsou na ně kladeny. [1] [2]

Tab. 1. Přehled izolačních tříd [1]

Třída	Teplota [°C]
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	>180

## 8.5 Odpor vodiče

Abychom mohli určit tepelné ztráty ve vodiči  $Q$ , potřebujeme znát odpor vodiče  $R$ . Za předpokladu, že proud je po průřezu vodiče rozložen rovnoměrně, platí:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{m}, \text{m}, \text{m}^2] \quad (14)$$

Rezistivita (měrný elektrický odpor) je materiálová vlastnost, která je závislá na teplotě a pro každý materiál je hodnota této veličiny jiná. Pro kovové vodiče rezistivita roste s rostoucí teplotou. Naopak u polovodičů a izolantů rezistivita zpravidla klesá s rostoucí teplotou. U spínacích přístrojů se používají hlavně kovové materiály. V technické praxi si vystačíme s lineárním vztahem, protože pásmo provozních teplot vodičů je úzké a horní hranice není vysoká.

$$\rho = \rho_{rf} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \quad [\Omega \cdot \text{m}; \Omega \cdot \text{m}, \text{K}^{-1}, \text{K}] \quad (15)$$

V rovnici znamená  $\rho_{rf}$  rezistivita při referenční teplotě, nejčastěji se vztahuje k teplotě 20 °C a  $\Delta\vartheta$  oteplení, které se vztahuje k referenční hodnotě.

Teplotní součinitel odporu  $\alpha$  udává poměrný přírůstek odporu při zvýšení teploty o 1 K oproti referenční teplotě  $\vartheta_{rf}$ .

Tab. 2. Rezistivita některých vodičů a jejich teplotní součinitele odporů [1]

Materiál	Ag	Cu	Au	Al	W	Pb	Grafit
$\rho_{20} \cdot 10^{-8}$ [Ω·m]	1,68	1,78	2,3	2,9	5,5	21	750
$\alpha_{20} \cdot 10^{-3}$ [K <sup>-1</sup> ]	4,1	3,9	4,0	4,1	5,0	4,1	-0,3



## 8.6 Šíření tepla

Teplu se obecně šíří z místa vzniku do okolí, nebo taky z místa s vyšší teplotou k místu, kde teplota je nižší. Rozeznáváme tři druhy šíření tepla, a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekci) a sáláním (zářením, radiací). U pevných látek se teplo šíří především vedením. U plynů se teplo přenáší všemi třemi způsoby. Ve vakuu se šíří pouze sáláním.

Matematicky lze šíření tepla zachytit pouze tehdy, probíhá-li jen vedení nebo záření. Nutným předpokladem je však homogenní (stejnorodé) prostředí. Pokud se jedná o homogenní prostředí, vytváří se v něm tepelné pole, je to pole skalární. Veličinou je teplota  $\vartheta$  [°C],  $\Theta$  [K] nebo oteplení  $\Delta\vartheta$ . Jeho rozložení v prostoru se zdroji popisuje Poissonova rovnice:

$$\frac{d^2\Theta}{dx^2} + \frac{d^2\Theta}{dy^2} + \frac{d^2\Theta}{dz^2} = -\frac{q}{\lambda} \quad (16)$$

### 8.6.1 Konduktce

U vedení je pro šíření tepelné energie potřeba prostředí vyplněné látkou a neustálý pohyb částic hmoty v ní. Částice se doslova nepohybují, pouze kmitají kolem své rovnovážné polohy. Kinetická energie při srážkách částic je přenášena z míst s vyšší teplotou do míst, kde je teplota nižší, a to tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání teplot. Hlavní veličina, která popisuje rychlost vedení tepla je součinitel tepelné vodivosti  $\alpha_0$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

### 8.6.2 Konvekce

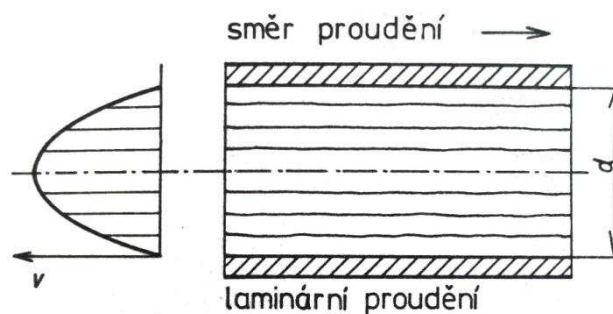
Je to nejrozšířenější druh vedení tepla. Rozhodující úlohu hraje proudění tekutin. Tekutinou rozumíme jak kapalinu, tak plyn. Kapaliny a plyn mají stejnou fyzikální podstatu proudění a také sdílení tepla. Nejčastější tekutiny, které potkáváme v technice, jsou především vzduch, voda, plyny (např. fluorid sírový SF<sub>6</sub>) a oleje. Sdílení tepla v rozdílných tekutinách se liší, závisí na mnoha fyzikálních parametrech, proto se jedná o nejsložitější druh přestupu tepla. Hlavní vliv mají tyto veličiny:

- |                       |           |  |
|-----------------------|-----------|--|
| • měrná hmotnost      | $\rho$    | [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]                      |
| • měrné teplo         | $c$       | [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] |
| • tepelná vodivost    | $\lambda$ | [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]   |
| • dynamická viskozita | $\eta$    | [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  |
| • statická viskozita  | $\nu$     | [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]                     |

U konvekce rozeznáváme dva stavy proudění: laminární a turbulentní. Pomocí Reynoldsova čísla jsme schopni určit, o jaké proudění se jedná.

#### Laminární proudění

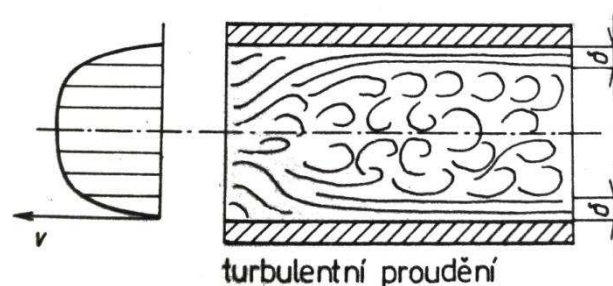
Je to způsob pohybu viskózních kapalin, při kterém jsou dráhy jednotlivých částic kapaliny navzájem rovnoběžné. Částice se pohybují ve vrstvách, které jsou navzájem rovnoběžné a nemísí se. Jednotlivé vrstvy tekutiny se nepohybují stejnou rychlostí. Nejrychleji se pohybují vrstvy poblíž osy a směrem k vnější stěně se rychlost jednotlivých vrstev zmenšuje.



Obr. 20. Laminární proudění [1]

### Turbulentní proudění

Na rozdíl od laminárního proudění dochází u turbulentního k mísení vrstev, takže kromě posuvného pohybu vznikají i víry. Rychlost pohybu není ve všech místech stejná, nepravidelně se mění. Takovému proudění říkáme nestacionární. Přenos tepla vedením se předává pouze v hraniční vrstvě, kde je laminární proudění.



Obr. 21. Turbulentní proudění [1]

### 8.6.3 Sálání

Sáláním rozumíme vyzařování elektromagnetického vlnění o vlnové délce o něco delší, než má viditelné spektrum, jehož vlnová délka se pohybuje od 380 do 750 nm. Žáření, které má vlnovou délku větší než viditelné spektrum, takže od 750 nm více, nazýváme infračervené. Toto tepelné záření se šíří do prostoru přímočaře rychlostí světla z povrchu každého tělesa, které má teplotu vyšší než 0 K. Jestli budeme uvažovat rovinnou plochu  $A$  [m<sup>2</sup>], která má všude stejnou teplotu  $\theta$  [K], potom se z ní odvádí sáláním do volného prostoru s teplotou  $\theta_0$  [K] tepelný tok  $\phi_s$  [W] tak potom můžeme psát Stefanův - Boltzmannův zákon:

$$\phi_s = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot E_s \cdot A \cdot (\theta^4 - \theta_0^4) \quad [\text{W}; -, \text{m}^2, \text{K}] \quad (17)$$

Konstanta  $5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  je součinitel sálání absolutně černého tělesa a  $E_s$  je emisivita. Pro absolutně černé těleso je  $E_s = 1$  a pro ostatní tělesa je  $E_s < 1$ . Orientační velikosti emisivity některých povrchů jsou v tab. 3. [1] [2]

Tab. 3. Emisivity povrchů materiálu a nátěru [2]

Materiál	Povrch	$E_s$
Hliník	leštěný	0,04
	hladký, oxidovány	0,1 - 0,8
Měď a barevné kovy	pololesklý	0,06
	hladký, oxidovány	0,6 - 0,8
Ocel	opracovaný, oxidovány	0,7 - 0,8
Šedá litina	hrubý, oxidovány	0,9 - 0,95
Nátěr	barevný, lesklý	0,85 - 0,9
	bílý, lesklý	0,8 - 0,85
	černý, lesklý	0,9
	černý, matný	0,95 - 0,98

## 9 Jistič Modeion BD250NE305

Je to jistič střední velikosti skupiny BD od společnosti OEZ s.r.o. Tento přístroj nemusí pracovat pouze jako jistič, ale je možné, že bude pracovat jako odpínač. Toho docílíme vyměněním spouště. V našem případě jsme použili funkce jističe s elektronickou spouští. Tato spoušť lze nastavovat dle potřeby v širokém rozsahu hodnot.

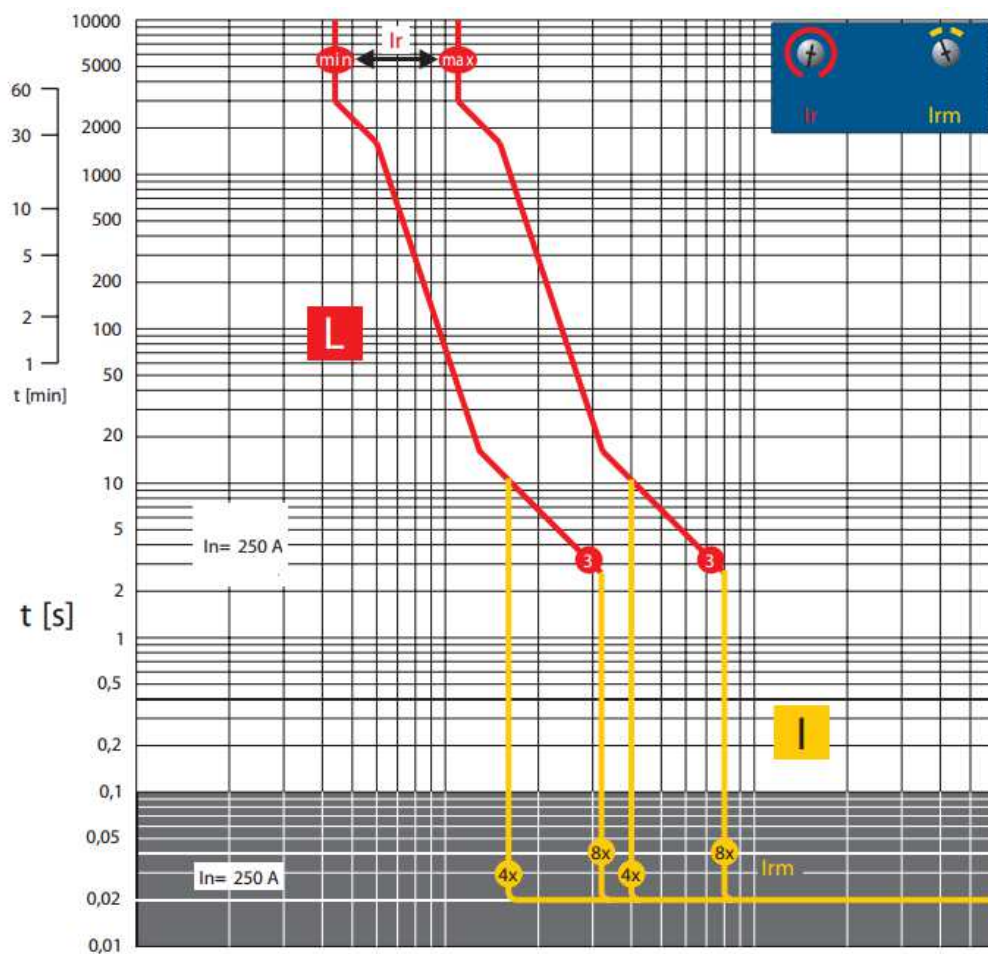


Obr. 22. Jistič BD250NE305

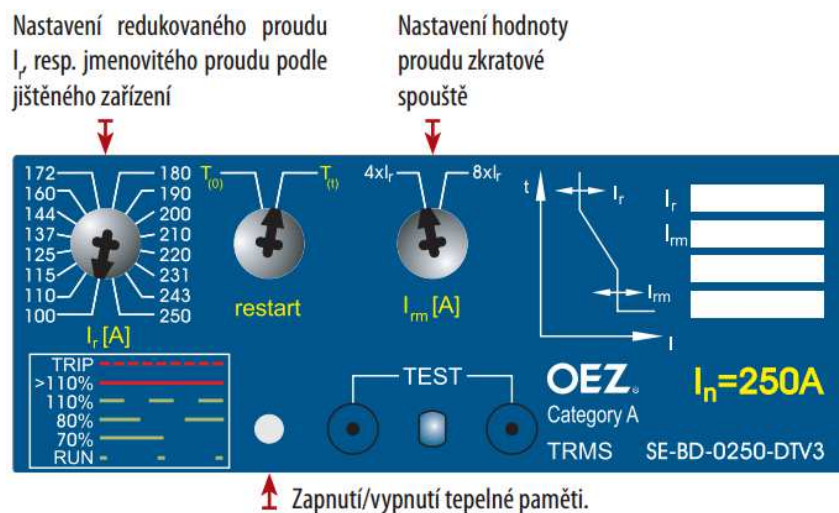
Tab. 4. Parametry jističe BD250NE305 [6]

Parametry	Značení	Hodnoty
Jmenovitý proud	$I_n$	100, 160, 200, 250 A
Jmenovitý trvalý proud	$I_u$	250 A
Jmenovité pracovní napětí	$U_e$	max. 690 V AC
Jmenovitý kmitočet	$f_n$	50/60 Hz
Jmenovité impulzní napětí	$U_{imp}$	8 kV
Jmenovité izolační napětí	$U_i$	690 V
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost	$I_{cu}$	60, 36, 16, 10 kA
Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost	$I_{cs}$	30, 18, 8, 5 kA
Doba vypnutí při $I_{cu}$		10 ms
Mechanická trvanlivost		30 000 cyklů
Elektrická pevnost		3 000 cyklů
Hustota spínání		120 cyklů/hod

## 9.1 Vypínací charakteristika



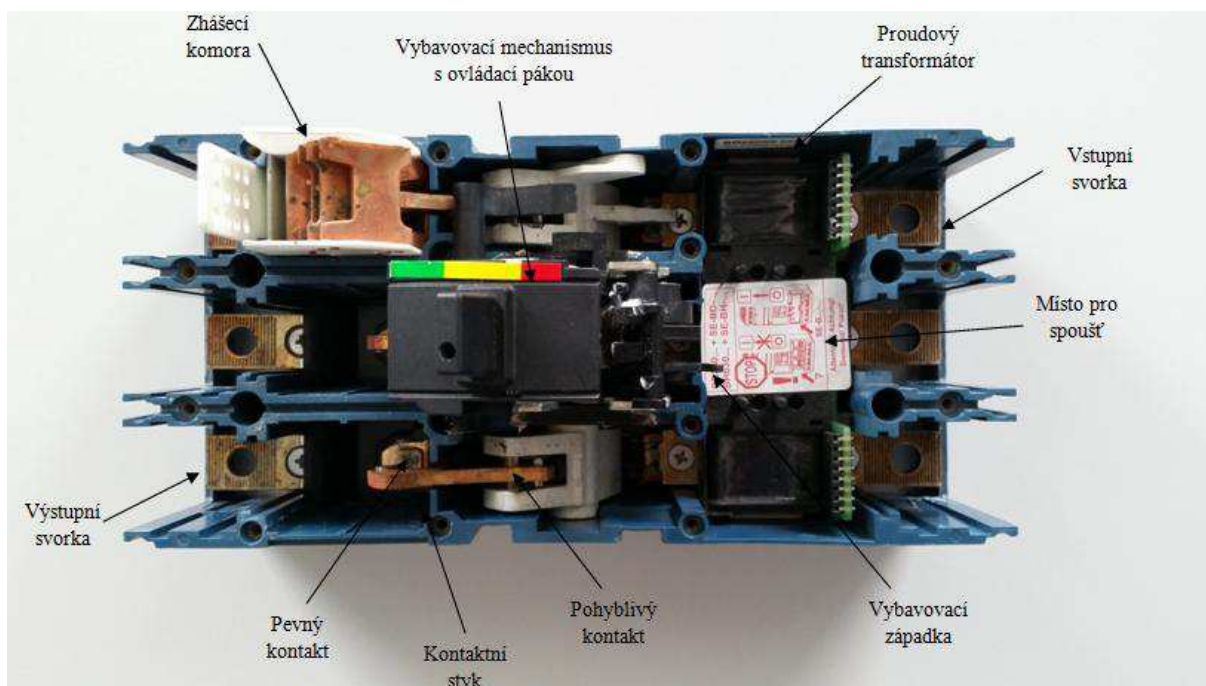
Obr. 23. Vypínací charakteristika jističe BD250NE305 [6]



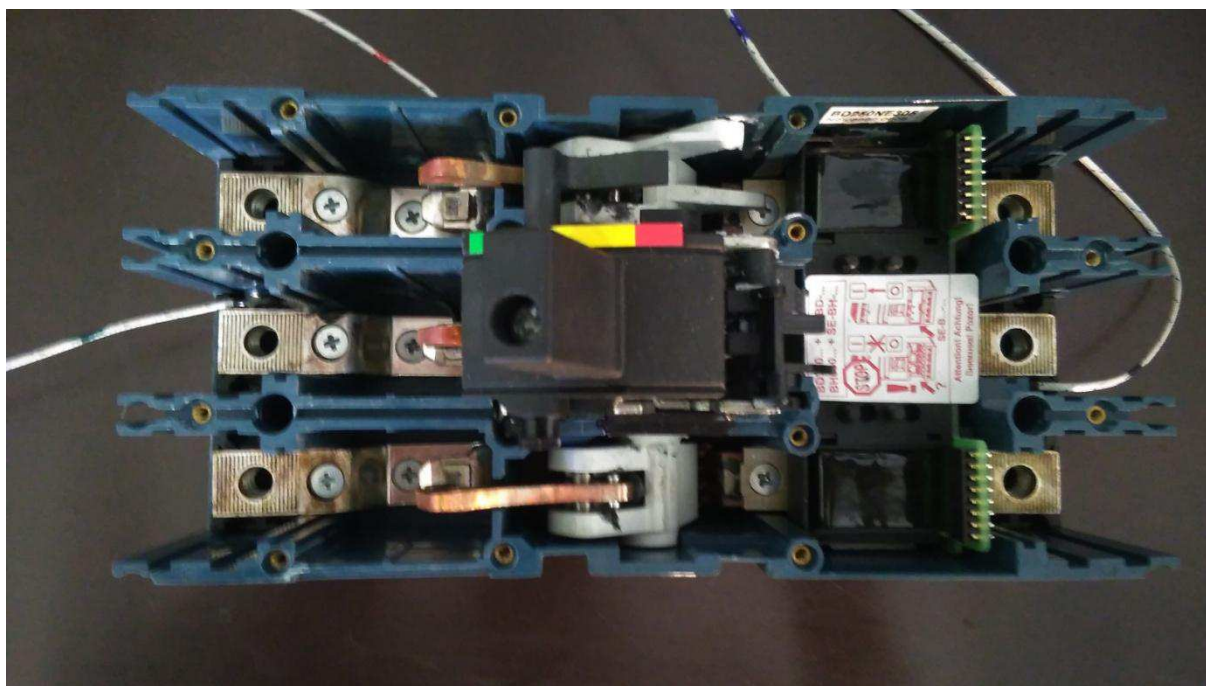
Obr. 24. Nastavování elektronické spouště [6]



## 9.2 Konstrukční části

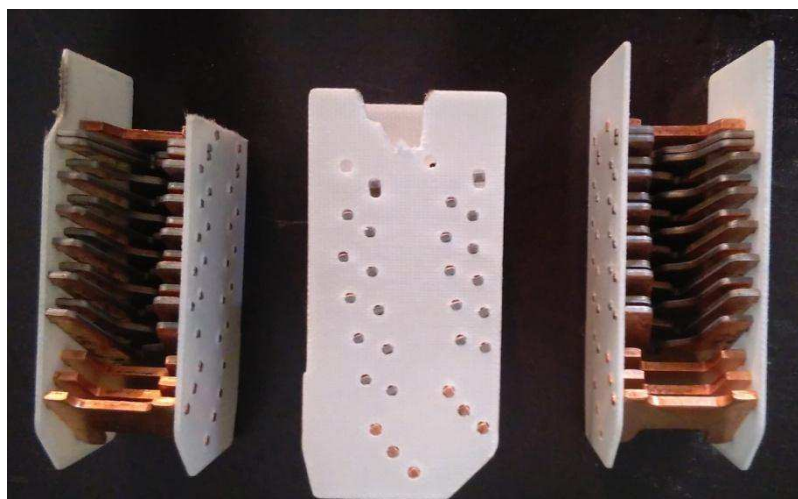


Obr. 25. Konstrukční části jističe BD250NE305

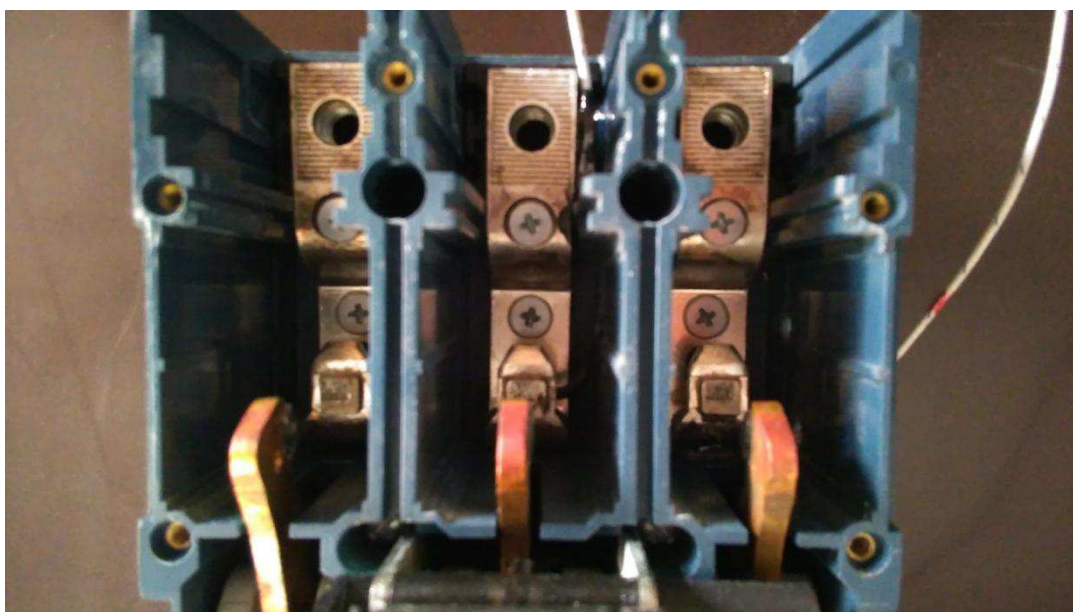


Obr. 26. Osazení jističe termočlánky

Na obr. 26. vidíme, kam byly umístěné termočlánky. Zeleně označený termočlánek byl umístěn na výstupní svorku, červeně na kontaktní styk, fialový na měřicí transformátor a černý na vstupní svorku.



*Obr. 27. Zhášecí komory jističe*

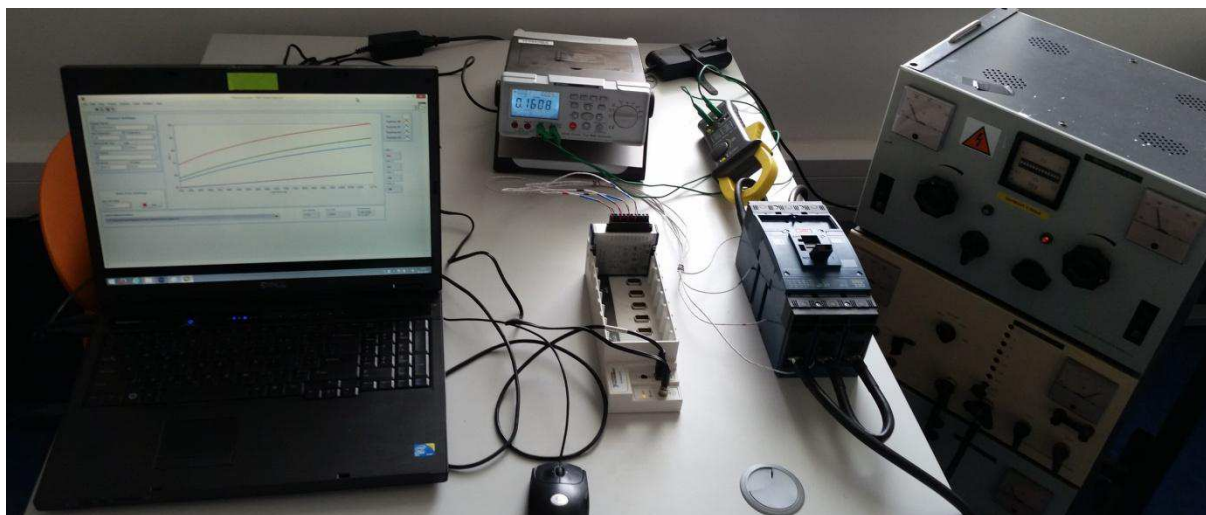


*Obr. 28. Kontaktní styk*

Na *obr. 28.* vidíme pohyblivé kontakty, pevné kontakty a výstupní svorky. Na prostřední výstupní svorce je vidět osazený termočlánek.

## 10 Praktické měření

V praktickém měření bylo provedeno měření oteplení konstrukčních částí jističe. Zvolili jsme střední velikost jističe Modeion BD250NE305. Měřili jsme pomocí čtyř termočlánků, které jsme umístili na určité části jističe. První část na které jsme měřili oteplení byla přívodní svorka, druhá jádro měřicího transformátoru proudu, třetí kontaktní styk a poslední část byla výstupní svorka.



Obr. 29. Zapojení měření

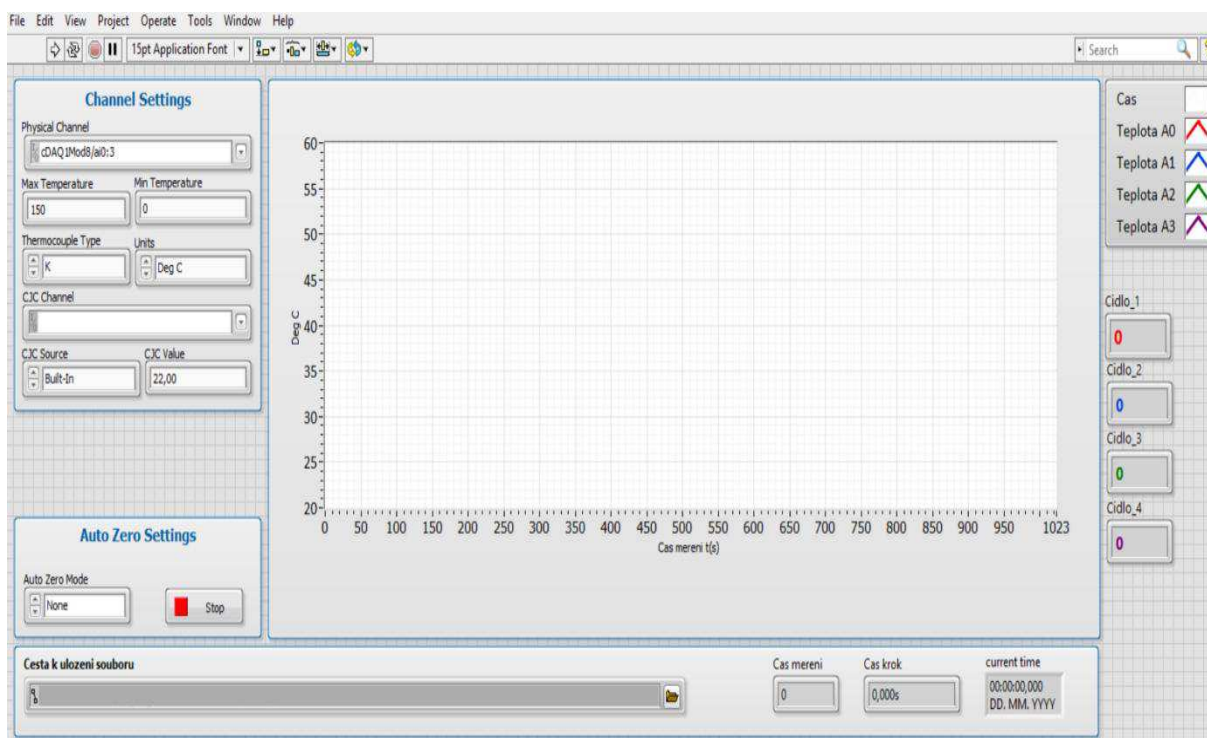
Měření probíhalo tak, že jsme nejprve zapojili termočlánky na části jističe, které jsme chtěli změřit. Následně jsme připojili termočlánky k měřicí kartě a propojili s počítačem. Pomocí softwaru labVIEW jsme nakreslili blokové schéma, pomocí kterého správně fungovala měřicí karta. Pak jsme zapojili jistič ke střídavému zdroji proudu, na který se nastavila jmenovitá hodnota proudu  $I_n = 160$  a snažili jsme se ji udržovat konstantní. I když je jistič konstruován na jmenovitou hodnotu proudu 250 A, museli jsme použít hodnotu 160 A, jelikož na ni byla konstruována elektronická spoušť. Pak byl do obvodu připojen klešťový ampérmetr, na který jsme připojili digitální voltmetr. Po spuštění zdroje a nastavení na jmenovitou hodnotu proudu byl zároveň spuštěn program a došlo k měření oteplení. Měření bylo prováděno po dobu 2 400 s a hodnoty byly měřeny každou sekundu. Za tuto dobu sice nedosáhla teplota ustálené hodnoty, ale značně se přiblížila a stačí nám, abychom ji určili. Naměřené hodnoty teploty pro  $I_n = 160$  A byly následně přepočteny pro hodnoty jmenovitého proudu  $I_n = 250$  A.

LabVIEW je grafické programovací prostředí používané zejména ke kontrole experimentu, sběru dat a jejich zpracování.

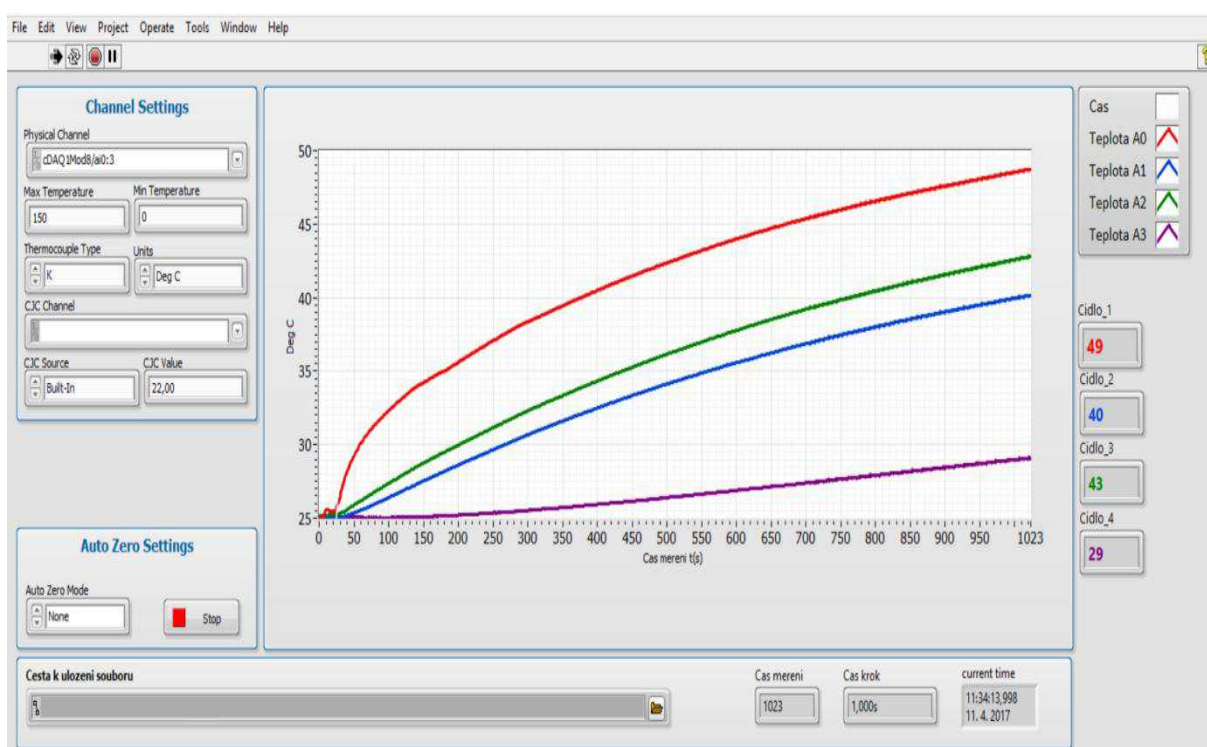
### Použité přístroje:

- Střídavý zdroj proudu (max. 1,5 kA)
- Měřicí karta
- Klešťový ampérmetr (max. 1 000 A)
- digitální voltmetr
- Jistič Modeion BD250NE305
- Počítač



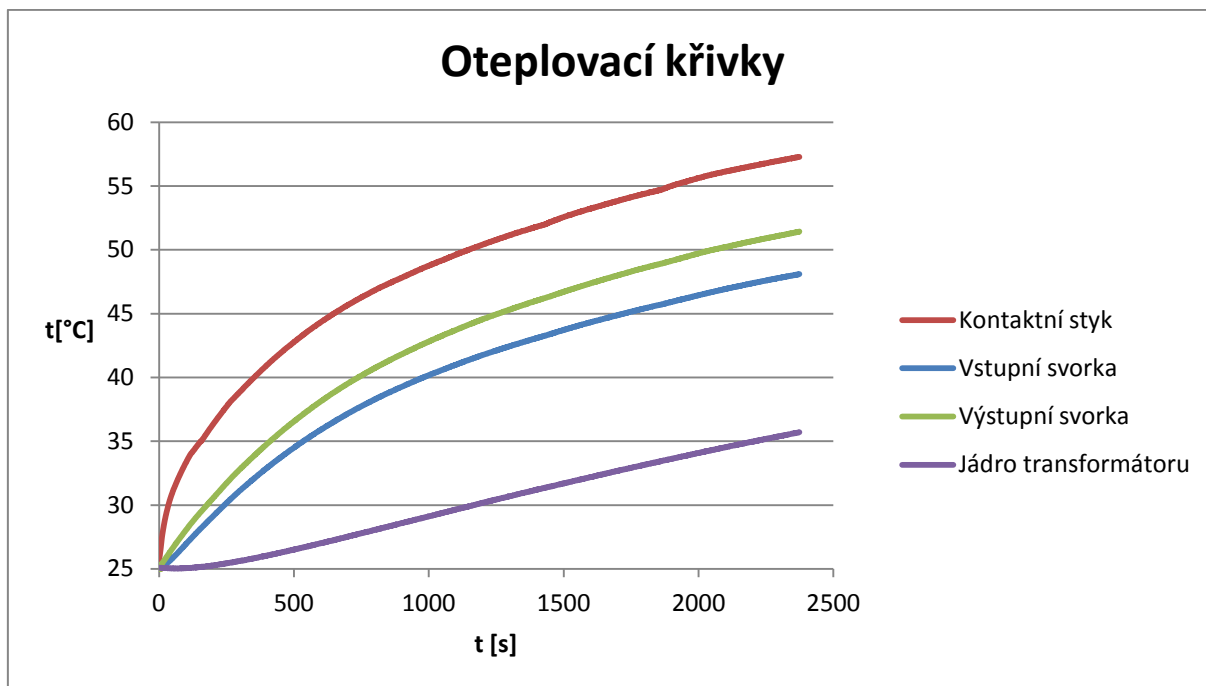


Obr. 30. Pracovní prostředí v programu labVIEW před měřením



. Obr. 31. Pracovní prostředí v programu labVIEW během měření

Na obr. 22. vidíme, jak nám měřená teplota exponenciálně roste. V každé měřené části je teplota odlišná. Největší oteplení je na kontaktním styku, a nejnižší na jádru transformátoru.



Obr. 32. Oteplovací křivky z naměřených hodnot

### Naměřené a vypočtené hodnoty

Tab. 5. Naměřené hodnoty ustálené teploty pro  $I_n = 160$  A

	$\vartheta_{\infty}$ [°C]	$\Delta\vartheta$ [°C]
Kontaktní styk	59,09	34,09
Vstupní svorka	52,69	27,69
Výstupní svorka	54,19	29,19
Jádro transformátoru	45	20

Tab. 6. Vypočtené hodnoty ustálené teploty pro  $I_n = 250$  A

	$\vartheta_{\infty}$ [°C]	$\Delta\vartheta$ [°C]
Kontaktní styk	144,26	119,26
Vstupní svorka	128,64	103,64
Výstupní svorka	132,30	107,30
Jádro transformátoru	109,86	84,86

Přepočet ustálené teploty z  $I_n = 160$  A na  $I_n = 250$  A:

Obecně

$$\vartheta_{\infty(T2)} = \vartheta_{\infty(T1)} \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2$$

V našem případě

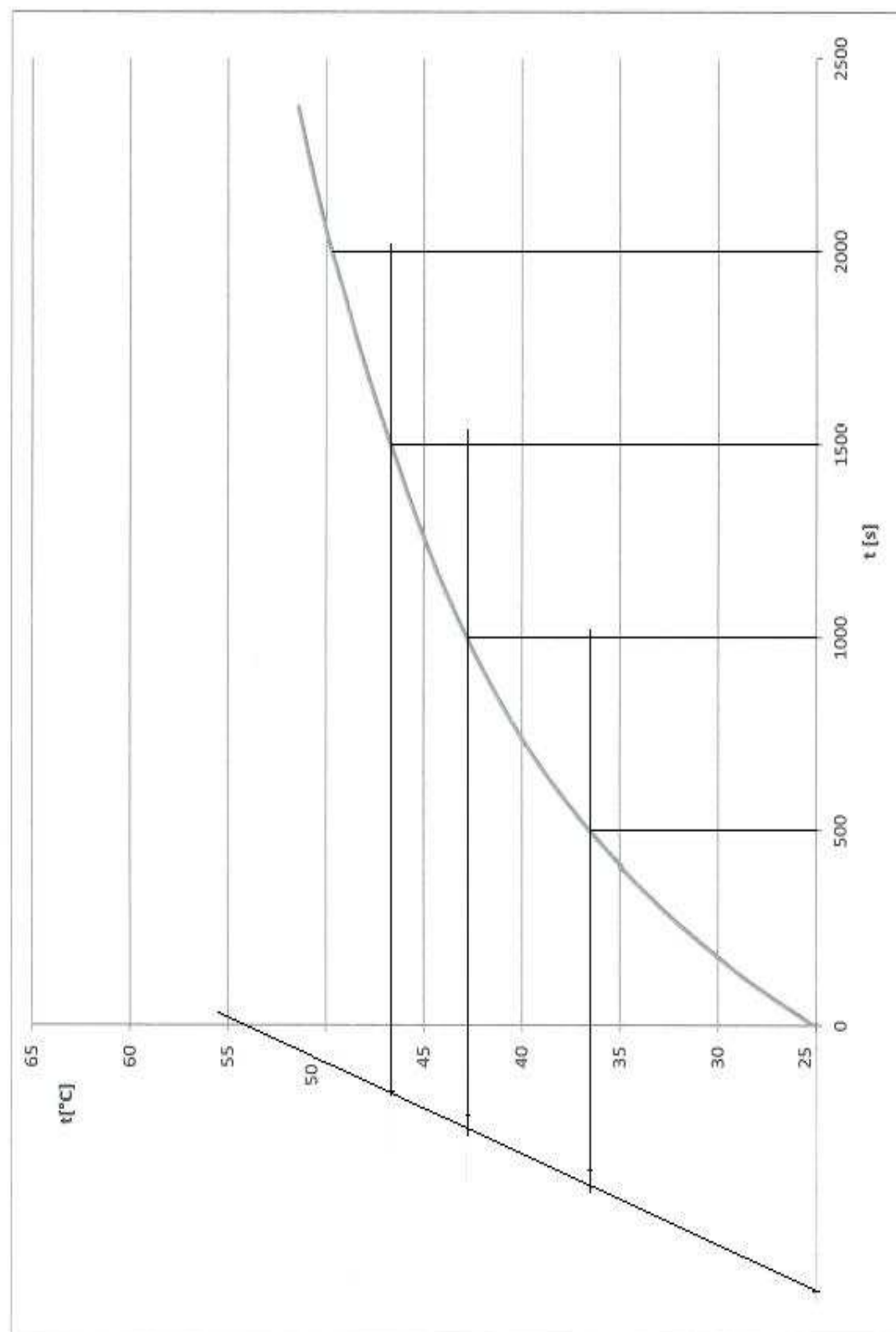
$$\vartheta_{\infty(250)} = \vartheta_{\infty(160)} \cdot \left(\frac{250}{160}\right)^2 = 59,09 \cdot \left(\frac{250}{160}\right)^2 = 144,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Výpočet oteplení

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\infty} - \vartheta_0 = 59,09 - 25 = 34,09$$

Za veličinu  $\vartheta_0$  považujeme teplotu okolí, která během měření byla 25 °C.

Oteplovací křivka na výstupní sorce



Obr. 33. Určení ustálené hodnoty

## 11 Závěr

Cílem této práce bylo změřit oteplení konstrukčních částí jističe a seznámit se s teorií, vlastnostmi, jednotlivými částmi a funkcemi jističe nízkého napětí.

Dále byl vedoucím práce osazen jistič termočláanky na čtyřech různých místech, na nichž proběhlo měření oteplení. Měření bylo prováděno na kompaktním jističi nízkého napětí střední velikosti od společnosti OEZ typ Modeion BD250NE305. Měření osazených částí bylo prováděno při jmenovité hodnotě proudu  $I_n = 160 \text{ A}$ , jelikož na tuto jmenovitou hodnotu byla konstruována elektronická spoušť. Poté jsme museli naměřené hodnoty ustálené teploty pro jednotlivé části přepočíst pro jmenovitý proud  $I_n = 250 \text{ A}$ , protože na tuto jmenovitou hodnotu byl konstruován měřený jistič.

U praktického měření nelze naměřit hodnotu ustáleného oteplení, dá se k ní pouze přiblížit. Proto měření probíhalo pouze po dobu 2 400 s, což nám postačilo k určení ustálené teploty. Měření všech měřených částí probíhalo v prostřední fázi, protože tam je nejkomplikovanější odvod tepla. Z toho plyne, že zde hodnoty teplot budou nejvyšší. Z naměřených hodnot jsme vynesli grafy, pomocí kterých jsme určili konečnou ustálenou teplotu. Jak se ustálená hodnota oteplení určila můžeme vidět na *obr. 33*, kde je to názorně zobrazeno pro výstupní svorku. Obdobně se odečítaly i hodnoty pro ostatní části. Teplota měřených částí na začátku měření, bez procházejícího proudu, byla  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hodnota oteplení při jmenovité hodnotě proudu  $I_n = 160 \text{ A}$  byla pro vstupní svorku  $27,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , výstupní svorku  $29,19 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , kontaktní styk  $34,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a pro jádro transformátoru  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při jmenovité hodnotě proudu  $I_n = 250 \text{ A}$  se oteplení navýšilo a bylo pro vstupní svorku  $103,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , výstupní svorku  $107,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , kontaktní styk  $119,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a pro jádro transformátoru  $84,86 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Oteplení získáme rozdílem ustálené teploty a teploty okolí.

Z výsledků měření můžeme vidět, že největší oteplení vzniká na kontaktním styku a naopak nejmenší na jádru transformátoru. Hodnoty na svorkách jsou téměř totožné.

Změřené hodnoty vyšly vyšší, než se očekávalo. Je to způsobeno použitím krátkých přívodů (propojek) mezi jednotlivými fázemi místo delších přívodů pro každou fázi zvlášť. Krátkými přívody se zvyšuje oteplení, protože nejsou schopny se uchladiť a tím pádem je teplo přenášeno dál.

## 12 Literatura

- [1] O. Havelka a kol, Elektrické přístroje, SNTL/Alfa, Praha/Bratislava, 1985
- [1] O. Havelka a kol, Stavba elektrických přístrojů I., Vysoké učení technické, Brno, 1984
- [3] S. Zeman, Jistíci a ochranné přístroje, Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1965
- [4] H.V.K.L Propag team Trutnov, Jistíci prvky a jejich použití v elektrických silových zařízeních, Informační a vzdělávací agentura, Trutnov, 1996
- [5] OEZ s.r.o, Jistíci Příručka elektrotechnika. Jistíci přístroje I., Interní dokumenty, Letohrad, 2012
- [6] Katalogy OEZ s.r.o, 2017, dostupné z: [www.oez.cz](http://www.oez.cz)
- [7] Elektrické přístroje spínací ochranné a jistíci, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava, 2003
- [8] Jan Moravec, Elektrické ochrany v soustavách nízkého napětí – 2. díl: Jistič, 2017, dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-jistic/#>
- [9] Pavel Mindl, Moderní elektronické jističe v rozvodech nn, SCHRACK, 2008, dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/schrack-moderni-elektronicke-jistice-v-rozvodech-nn>